

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический  
институт  
Транспортные и технологические машины  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В. А. Зеер  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

190201.65 «Автомобиле- и тракторостроение»

код и наименование специальности

Модернизация автомобиля категории М1 для участия в автоспорте  
с разработкой трансмиссии и каркаса безопасности  
тема

Пояснительная записка

Руководитель  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ инициалы, фамилия

В.А. Зеер

Выпускник  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ инициалы, фамилия

М.Д. Паринов

Красноярск 2016

Продолжение титульного листа ДП по теме «Модернизация автомобиля категории М1 для участия в автоспорте с разработкой трансмиссии и каркаса безопасности».

Консультанты по  
разделам:

<u>Технология</u>	<u>В.П. Погодаев</u>
наименование раздела	подпись, дата                      инициалы, фамилия

<u>Безопасность и экологичность проекта</u>	<u>В.А. Зеер</u>
наименование раздела	подпись, дата                      инициалы, фамилия

<u>Экономический раздел</u>	<u>Л. Н. Родикова</u>
наименование раздела	подпись, дата                      инициалы, фамилия

<u>Нормоконтролер</u>	<u>В.Г. Мельников</u>
подпись, дата                      инициалы, фамилия	

## Содержание

Введение.....	6
---------------	---

1 Технико-экономическое обоснование.....	8
1.1 Обзор существующих конструкций каркасов безопасности и требований предъявляемых к ним.....	12
1.1.1 Основные понятия и определения.....	12
1.1.2 Требования предъявляемые к конструкции каркаса Безопасности.....	14
1.2 Обзор типов трансмиссий легковых автомобилей.....	21
2 Конструкторская часть.....	26
2.1 Разработка технического задания.....	26
2.1.1 Техническое задание на разработку каркаса безопасности транспортного средства категории М1 для участия в автоспорте.....	26
2.2 Общая компоновка транспортного средства.....	27
2.3 Определение реакций опорной поверхности на колеса АТС...29	
2.3.1 Координаты центра масс проектируемого АТС.....	29
2.4 Тягово-скоростные свойства транспортного средства .....	33
2.4.1 Тягово-скоростные свойства автомобиля прототипа.....	33
2.4.2 Тягово-скоростные свойства проектируемого прототипа..	36
2.5. Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений.....	38
2.5.1 Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений базового автомобиля.....	38
2.5.2 Расчет и анализ скоростной характеристики.....	44
2.5.3 Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений модернизированного автомобиля.....	47

2.6 Расчет элементов трансмиссии проектируемого автомобиля...	53
2.6.1 Расчет карданной передачи.....	53
2.7 Проверочные расчеты каркаса безопасности на прочность.....	56
2.7.1 Расчет сварных соединений.....	56
2.7.2 Испытание на главной дуге.....	57
2.7.3 Испытание на передней дуге .....	58
3 Технологическая часть.....	60
3.1 Оборудование и материалы.....	60
3.2 Подготовка к сборке каркаса безопасности.....	60
3.3 Сборка каркаса безопасности.....	61
3.3.1 Установка главной дуги каркаса.....	61
3.3.2 Установка передней дуги каркаса.....	61
3.3.3 Сборка элементов крыши каркаса.....	62
3.3.4 Установка усилителей дверного проема.....	62
3.3.5 Установка усилителя главной дуги .....	63
3.3.6 Установка задних опор каркаса безопасности.....	63
4 Экономическая часть.....	65
4.1 Расчет трудоемкости конструкторских работ на проектирование	
4.2 Определение затрат на оплату труда конструктора.....	67
4.3 Затраты на материалы и комплектующие изделия.....	69
4.4 Затраты на изготовление.....	70
4.4.1 Затраты на заработную плату производственных рабочих	
4.5 Прочие затраты.....	75
4.6 Капитальные вложения на разработку и изготовление опытного Образца.....	76
4.7 Расчет экономической эффективности .....	77
5 Безопасность и Экологичность проекта.....	81
5.1 Введение.....	81
5.2 Анализ опасных и вредных факторов.....	82

5.3 Защита от опасных и вредных факторов.....	85
5.4 Пожарная безопасность.....	89
5.5 Экологичность проекта.....	90
Заключение	
Список использованных источников	
Приложение А	
Приложение Б	

## Введение

Япония – во многом уникальная страна: высокие технологии и древние традиции, внешняя скромность и ночные секс-шоу, ограничение по мощности и огромное количество автомобильных гонок. Именно здесь зародились гонки серии TimeAttack – столь же уникальные и созданные на контрастах, как и вся страна: гонка на асфальте (как кольцо) и замер времени для каждого автомобиля (как ралли).

Первые упоминания о гонках TimeAttack относятся к 1960-м годам. Однако тогда это были лишь любительские соревнования, которые устраивали на недостроенных дорогах или извилистых горных перевалах. Каждый автомобиль проходил трассу в одиночку. Ответ на вопрос «Кто круче?» давал беспристрастный секундомер, а не череда обгонов, толкотни, ошибок других пилотов – это позволяло показать максимум возможностей пилота и его автомобиля.

Первая официальная гонка серии TimeAttack, если отталкиваться от источников SpeedHunters, прошла в мае 1994 года при поддержке журнала RevSpeed – это была гонка TsukubaSuperBattle. Победителем стал пилот Ейджи «Тарзан» Ямада (Eiji «Tarzan» Yamada) на NissanSkyline GT-R R32, который прошел зачетный круг за 1:00:85 мин. Идея гонки понравилась и пилотам, и производителям компонентов для тюнинга, в результате чего гонки TimeAttack проводились все чаще и чаще.

Так в 2001 году при поддержке известной тюнинг-компании HKS был даже построен специальный автомобиль Toyota TRB-01 (TsukubaRecordBreakerver. 01) на базе ToyotaAltezza (у нас известен как Lexus IS 1-го поколения). С таким подходом гонки TimeAttack вышли далеко за пределы любительских и даже полупрофессиональных соревнований – и стали все больше превращаться в профессиональную гонку с серьезными спонсорами, подготовкой пилотов, очень «заряженными» автомобилями.

С этого периода TimeAttack начинает успешное шествие по планете. В 2006-м гонки TimeAttack официально приходят в Великобританию; в 2008-м соревнования на официальном уровне проводятся в Австралии. На территории СНГ гонки

TimeAttack впервые появляются на любительском уровне примерно в 2005-2006-м годах, а первые официальные гонки проводятся с 2008 года.

Прежде всего, давайте разберемся, что такое «Time-attack». Если постараться перевести эти два слова, то станет понятно, что речь идет о времени и о борьбе с ним – Атака Времени. Исходя из этого можно вывести определение: «Time-attack»- это соревнование на закрытой трассе, автодроме, кольце, треке и т.д. за показатель лучшего времени круга.

Совсем недавно «Time-attack» получил официальное признание многими мировыми автомобильными ассоциациями и федерациями как новая дисциплина со своими особыми правилами и регламентом. В России к сожалению «Time-attack» как отдельная дисциплина автоспорта еще не получила официального признания РАФ, но на трассах нашей необъятной родины вовсю уже проводятся открытые любительские чемпионаты, в которых участие может принять любой желающий, на своем собственном автомобиле.

Целью данного дипломного проекта является модернизация автомобиля категории М1 для участия в автоспорте. Модернизироваться будет автомобиль марки BMW3-й серии, изменению подвергнется трансмиссия автомобиля, а так же будет спроектирован каркас безопасности для водителя.

## 1 Технико-экономическое обоснование

TimeAttack является любительской гоночной серией и становится первой ступенью в автоспорте для многих сибирских пилотов. Чемпионат проводится на "Красном Кольце" с 2008 года и включает в себя пять классов: Первый, Атмосферный, TurboStock, Mono GT и Turbo PRO. Задача участников показать лучшее время круга за отведенную гоночную сессию.

Таблица 1.1 - Динамика участников гоночной серии TimeAttack по годам

Год	Всего участников	Класс				
		Первый	Атмосферный	TurboStock	Mono GT	Turbo PRO
2013	77	22	21	34	-	-
2014	79	19	25	15	16	4
2015	111	18	24	27	25	17

Из таблицы 1.1 видно, что с каждым годом увеличивается число участников, все больше и больше людей увлекаются гонками на автомобилях.

В таблице 1.2 приведены марки автомобилей и их количество, участвующих в гонках Turbo PRO с момента их организации.

Таблица 1.2 - Марки автомобилей участвующих в гоночной серии TimeAttack в классе Turbo PRO

№	Марка автомобиля	Количество, шт.
1	MMC Lancer Evo	6
2	Subaru Impreza	3
3	Mercedes Benz A45 AMG	1
4	Mazda RX7	1
5	Honda Civic	2
6	LadaKalina	1
7	Nissan Skyline	2
8	BMW 3 Series	1



Согласно требованиям статьи 252 Приложения Jk Международному Спортивному Кодексу FIA предъявляемым к автомобилям участвующим в гоночных соревнованиях класса «Turbo-PRO», допускаются автомобили без ограничения по типу привода и объему двигателя. Силовой агрегат и трансмиссия: двигатель серийный для данной марки автомобиля. Допускается установка нестандартной ГБЦ, разрезных шестерней, распред. валов, многодроссельной системы впуска, нестандартной системы выпуска, включая все ее элементы (выпускная система должна выводить отработанные газы за пределы кузова автомобиля). Блок управления двигателем свободный. Турбонагнетатель свободный. Трансмиссия свободная. Допускается установка нестандартных блокировок дифференциала, выпускаемых фабрично для данной модели КПП. Допускается использование радиатора увеличенного сечения при условии его фабричного изготовления. Место расположения радиатора – под капотом автомобиля. Топливная система: Допускается использование спортивного топливного бака при условии отделения его от салона несгораемой герметичной перегородкой. Топливные магистрали свободные при условии фабричного изготовления. Прокладка топливных магистралей через салон автомобиля запрещена. Топливная рейка свободная при условии фабричного производства. Применяемое топливо – бензин. Производитель топлива, равно как и октановое число применяемого топлива – свободные. Тормозная система: допускается использование тормозного механизма, выпускаемого серийно для данной марки автомобиля, либо нестандартного механизма при условии его фабричного изготовления. Тормозные диски и колодки свободные при условии фабричного изготовления. Допускается установка армированных тормозных шлангов. Шины: разрешается использование любых гражданских шин, а также полусликов. Решение спорных вопросов о допуске тех или иных шин принимается техническим комиссаром. Кузов: допускается установка капота из композитных материалов при условии крепления дополнительными замками в количестве не менее двух штук, нестандартных передних и задних крыльев из композитных материалов, переднего и заднего бампера, порогов. Крышка багажника может быть исполнена из композитных материалов при условии крепления дополнительными замками в количестве не менее двух штук. Крыша заводская для дан-

ной модели автомобиля. Запрещается удаление передних фар и задних фонарей. Допускается замена одной из передних фар на корпус из композитных материалов для подвода холодного воздуха в систему впуска. Допускается замена дверей на нестандартные из композитных материалов, при условии установленного сварного каркаса безопасности, либо болтового с продольной боковой защитой («сайдбар»). Салон: демонтаж салона и его элементов разрешен. Запрещается демонтировать панель приборов и центральную консоль. Разрешается замена передних сидений на сиденья спортивного типа. Допускается установка болтового каркаса безопасности при условии его фабричного изготовления для данной модели автомобиля. Допускается установка сварного каркаса безопасности. Ремни безопасности серийные для данной модели, либо спортивного типа с не менее тремя точками крепления.

В соответствии с регламентом соревнований для участников нет ограничения по мощности ДВС и типу привода колес, поэтому все автомобили участвующие в соревнованиях по своим техническим характеристикам значительно превосходят серийно выпускаемые автомобили, часто автомобили для гонок готовят путем модернизации серийных. Для это в серийный автомобиль устанавливают двигатель имеющий большую мощность и больший крутящий момент. Так же изменению подвергается трансмиссия самого автомобиля, т.к. к колесам необходимо передавать больший крутящий момент.

Согласно техническому заданию в дипломном проекте необходимо модернизировать существующую конструкцию серийного автомобиля марки BMW, с целью подготовки автомобиля к гоночным состязаниям в серии TimeAttack в классе Turbo PRO. Одной из задач модернизации является увеличение крутящего момента трансмиссии автомобиля, путем замены силового агрегата и коробки передач.

Таблица 1.3 - Сравнение параметров базового и проектируемого автомобилей

Агрегат	Параметр	Базовый	Проектируемый
---------	----------	---------	---------------

Двигатель	V, см <sup>3</sup>	1991	5980
	N, кВт	100	300
	M, Нм	203	600
Коробка передач	I	3,831	2,481
	II	2,203	1,479
	III	1,4	1
	IV	1	0,73
	V	0,81	-
	З.Х.	3,46	2,092
		МКПП	АКПП
Главная передача		3,45	3,15
Момент на колесах	Мкр, Нм	2510	4685

Как видно из таблицы 1.3 такой параметр как крутящий момент на колесах проектируемого автомобиля после замены ДВС и трансмиссии вырос почти в два раза, соответственно выросла максимальная скорость движения автомобиля.

Во время соревнований автомобили движутся с очень большими скоростями, иногда происходят аварии. Для защиты водителя необходимо произвести модернизацию внутреннего пространства автомобиля, чаще всего модернизация заключается в установке внутри кузова автомобиля силового каркаса безопасности, который со всех сторон защищает водителя. Соблюдение техники безопасности является ключевым моментом в сохранении жизни и здоровья водителя.

Из всего выше перечисленного видно что, тема дипломного проекта является актуальной, а автомобиль подготовленный по всем правилам позволит бороться за высокие места в соревнованиях при минимальных рисках жизни и здоровью участника. Тем более , что все больше и больше людей втягивается в увлекательный мир автоспорта, т.к. это не только адреналин от участия в самих гонках, но и увлекательный процесс подготовки самого автомобиля во время которого можно реализовать свои идеи и технические решения.

## 1.1 Обзор существующих конструкций каркасов безопасности и требований предъявляемых к ним

### 1.1.1 Основные понятия и определения

Клетка безопасности - пространственная конструкция, разработанная и предназначенная для предотвращения серьезной деформации кузова в случае столкновения или переворота автомобиля.

Дуга безопасности - структурная рама (или петля) с точками крепления.

Каркас безопасности - пространственная конструкция, состоящая из главной дуги и передней дуги (или из двух боковых дуг), элементов их соединения, одного диагонального элемента, задних распорок и точек крепления. (Рисунок 1.1).

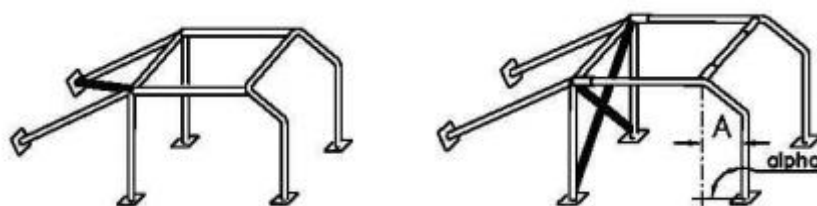


Рисунок 1.1 - Каркас безопасности

Каркас бывает разборным (сборным) и не разборным (сваренным). Сборно-разборные каркасы - это чаще всего клетка безопасности в салоне, закрепленная к боковой стойке, порогу-полу. Все трубы соединены между собой болтами, именно поэтому в любой момент можно выкрутить болты и разобрать всю конструкцию. Так же его называют болтовой каркас безопасности.

Сваренный (сваренный) каркас - обычно сложный по конструкции, связанный с силовой структурой автомобильного кузова, применяется при серьезном индивидуальном тюнинге. Установка каркаса безопасности в данном случае сложная и кропотливая работа. Необходимо разобрать весь салон до металла, проделать технические отверстия в разных частях кузова для установки труб, соединить их между собой и все это дело сварить.

Главная дуга - структура, состоящая из почти вертикальной рамы (или петли), расположенная поперек автомобиля, непосредственно за передними сиденьями.

Передняя дуга - аналогична главной дуге, но её форма следует стойками лобового стекла и его верхнего края.

Боковая дуга - структура, состоящая из почти вертикальной рамы (или петли), расположенная по правой или левой стороне автомобиля. Задняя стойка боковой дуги должна располагаться непосредственно позади передних сидений. Передняя стойка должна располагаться вдоль стоек лобового стекла и двери, так, чтобы не создавать помех для входа и выхода водителя и второго водителя

Продольный элемент - продольная труба, не являющаяся частью главной, передней или боковой дуг и соединяющая их, вместе с задними распорками.

Диагональный элемент - поперечная труба между верхним углом главной дуги или верхним концом наклонной распорки и нижней точкой крепления дуги или распорки с другой стороны.

Усилительный элемент - усилительный элемент, добавленный к каркасу безопасности для улучшения его структурной эффективности.

Усилительная пластина - металлическая пластина, закрепленная на кузове или шасси в местах монтажа к нему стоек дуг для более равномерного распределения нагрузок.


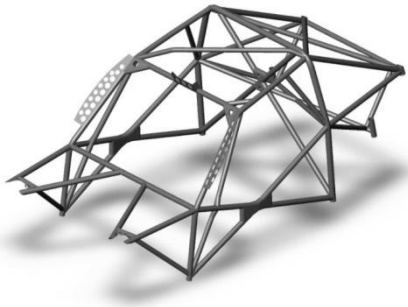
Монтажная опора - пластина, приваренная к трубе дуги, для крепления ее болтами или сваркой к кузову или шасси, как правило, к усилительной пластине.

Съемные элементы - структурные элементы клетки безопасности, которые могут быть удалены.

Второй задачей модернизации автомобиля при подготовке к гоночным соревнованиям, является оснащение автомобиля каркасом безопасности, т.к. наличие каркаса безопасности является общим требованием предъявляемым к автомобилям участвующих в гонках. В таблице 1.4 приведены существующие конструкции каркасов безопасности.

Таблица 1.4 - Конструкции каркасов безопасности

Тип	Вид	Цена, руб
-----	-----	-----------

Болтовой		35000
Сварной		60000

### 1.1.2 Требования предъявляемые к конструкции каркаса безопасности

Требования к конструкции: каркас безопасности должен быть разработан и изготовлен так, чтобы, при правильной установке, он существенно уменьшал деформацию кузова и снижала риск получения травм лицами, находящимися внутри автомобиля. Важнейшие отличительные черты каркаса безопасности – совершенная конструкция, разработанная для конкретного автомобиля, адекватный монтаж и тщательная подгонка к форме кузова. Трубы не должны использоваться для транспортировки жидкостей. Каркас безопасности не должен создавать помех для входа или выхода первого и второго водителя. Элементы конструкции могут проходить через пассажирское пространство - сквозь отверстия в: приборной панели, передней боковой обивке, а также в задней боковой обивке и задних сиденьях. Заднее сиденье может быть сложено вниз. В продольном направлении каркас безопасности должен располагаться между точками крепления элементов передней и задней подвесок, воспринимающих вертикальные нагрузки (пружин и амортизаторов).

Обязательный диагональный элемент - различные варианты установки обязательного диагонального элемента (Рисунок 1.1). Для новых автомобилей, омологированных с 1 января 2002 года, а также для всех новых каркасов безопасности, омологированных НСФ (ст.8.4) или ФИА (ст.8.5) с 01.01.2003 – обязательна. Соединения между этими двумя элементами должны быть укреплены «косынками».

Дверные распорки (для боковой защиты) - с каждой стороны автомобиля должно быть не менее одной дверной распорки (Рисунок 1.2). Они могут быть съемными. Для соревнований без второго водителя, эти распорки могут быть установлены только с водительской стороны. Боковая защита должна простираться вверх как можно выше, но ее верхние точки крепления не должны быть выше половины высоты дверного проема, измеренной от его основания. Если эти верхние точки крепления расположены перед дверным проемом или позади него, то это ограничение высоты относится к соответствующему пересечению распорки и проема двери. В случае применения элементов боковой защиты в форме "X", нижние точки крепления «X»-образной распорки рекомендуется крепить к продольному элементу каркаса, при этом, как минимум, одна из «X» - составляющих (диагоналей) должна быть изготовлена из цельного отрезка трубы.

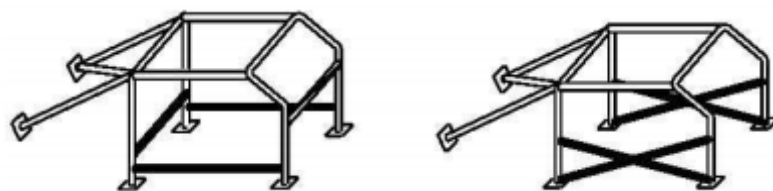


Рисунок 1.2 – Расположение усилителей каркаса безопасности

Технические спецификации:

- главная, передняя и боковая дуги: эти дуги должны быть изготовлены из одного куска трубы без соединений. Их поверхность должна быть гладкой и ровной, без складок или трещин. Вертикальная часть главной дуги должна быть настолько прямой, насколько это возможно и располагаться настолько близко к внутреннему контуру кузова. Передняя стойка передней дуги или боковой дуги должна быть прямой, или, если это не возможно, должна следовать за стойками вет-

рового стекла и иметь только один изгиб в его наиболее низкой части, так, чтобы нижняя часть стойки была вертикальной. Если роль задних стоек боковых дуг выполняет главная дуга (Рисунок 1.3), то боковые дуги должны присоединяться к главной дуге на уровне крыши. Для достижения наиболее эффективного крепления к кузову, внутренние накладки кузова могут быть изменены около каркаса безопасности и элементов его крепления, путем их срезания или изгиба. Однако это разрешение не допускает удаления целиком накладок или деталей обивки. Если это необходимо, блок предохранителей может быть перемещен, если он мешает установке каркаса безопасности.

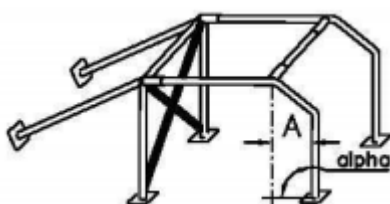


Рисунок 1.3 – Усилитель задней дуги каркаса безопасности

Монтаж каркаса безопасности к кузову: минимальное количество мест крепления:

- 1 для каждой вертикальной опоры главной или боковой дуг;
- 1 для каждой вертикальной опоры передней дуги;
- 1 для каждой задней распорки, каждая монтажная опора передней, главной и

боковой дуги должно иметь усиливающую пластину, толщиной не менее 3 мм и не менее толщины стенки трубы, к которой она приварена. Каждая монтажная опора должна крепиться не менее чем тремя болтами к стальной усилительной пластине, толщиной не менее 3 мм и площадью не менее  $120 \text{ см}^2$ , приваренной к кузову. Примеры приведены на рисунке 1.4. Это не обязательно для задних распорок. Болты должны иметь размер, по крайней мере, M8 стандарта ISO 8.8 или выше. Крепеж должен быть либо самоконтрящимся, либо оснащаться стопорными шайбами. Это - минимальные требования. В дополнение к этим требованиям, может использоваться большее количество соединительных деталей, вертикальные опоры дуг могут быть приварены к усилительным пластинам, каркас безопасности может быть приварен к



кузову. Вертикальные опоры дуг не могут быть приварены непосредственно к кузову без усилительных пластин. В случае если кузов (или шасси) выполнены из алюминия, всякая сварка между кузовом и каркасом запрещена, разрешено только приклеивать усилительные пластины.



Рисунок 1.4 – Вертикальные опоры дуг

Задние распорки - обязательны и должны прикрепляться к главной дуге как можно ближе к уровню крыши, в наиболее высоких точках изгиба главной дуги по обе стороны автомобиля. Они должны располагаться под углом не менее  $30^\circ$  к вертикали, должны быть прямыми, направленными назад и находиться как можно ближе к внутренним боковым панелям кузова. Монтаж распорок к кузову должен осуществляться через усилительные пластины. Каждая распорка должна крепиться болтами, имеющими суммарное поперечное сечение не менее чем  $2/3$  от рекомендованного для стоек дуг и с идентичными усилительными пластинами, площадью, по крайней мере,  $60 \text{ см}^2$  (см. рис. 1.5). Допускается один болт, работающий в двух направлениях, если он имеет достаточное сечение и прочность и при условии, что в распорку вварена втулка.

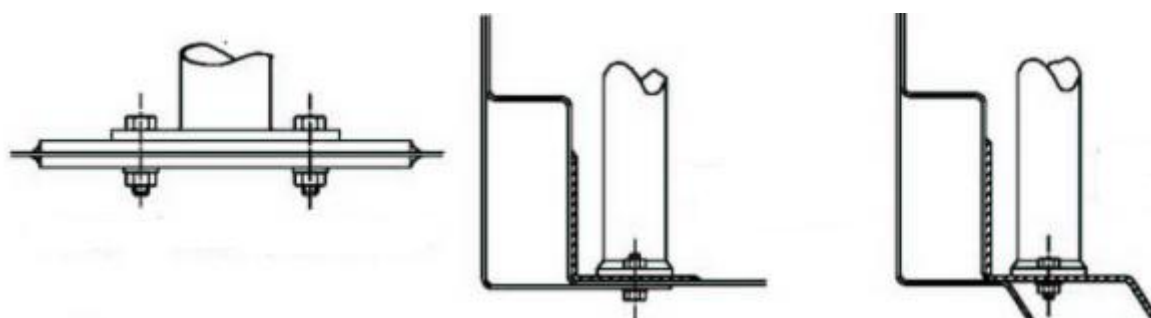


Рисунок 1.5 – Варианты крепления распорок

Диагональные элементы - наличие хотя бы одного диагонального элемента - обязательно. Их расположение должно соответствовать рисункам 1.1 и 1.3, и они должны быть прямыми, не изогнутыми. Расположение точек крепления диагональных элементов должно быть травмобезопасным. Они могут быть съемными, но

должны быть на месте в течение соревнования. Нижний конец диагонали должен присоединяться к задней распорке или главной дуге не далее чем в 100 мм от места ее крепления к кузову. Верхний конец диагонали должен присоединяться к главной дуге или задней распорке не далее 100 мм от места их соединения между собой.

Дополнительные усилительные элементы каркаса безопасности: Диаметр, толщина и материал должны соответствовать указаниям в таблице 1.4. Они должны быть или вварены, или установлены посредством разборных соединений.

Поперечные усилительные элементы - применение двух поперечных элементов как на рис.1.2 разрешено. Поперечный элемент установленный на переднюю дугу, не должен проходить через пространство, предназначенное для пассажиров. Он должен располагаться настолько высоко, насколько возможно, но его нижний край не должен быть выше вершины приборной панели.

Усиление крыши - укрепление верхней части защитного каркаса, добавлением элементов как на рис.2.6 - разрешено.

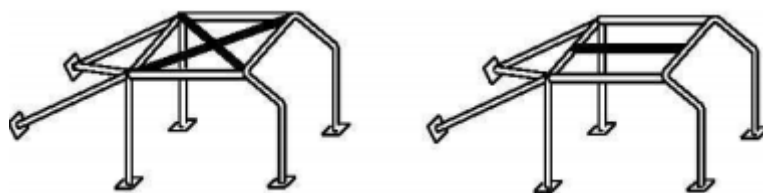


Рисунок 1.6 – Крыша каркаса безопасности

Усиление изгибов и соединений – разрешается усиливать соединения главной дуги или передней дуги с продольными распорками (Рисунки 1.7 и 1.8), а также верхние задние изгибы боковых дуг и соединения между главной дугой и задними распорками.

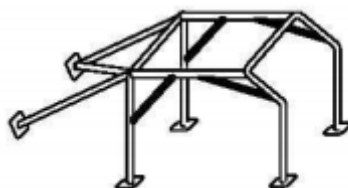


Рисунок 1.7 – Усиление изгибов и соединений

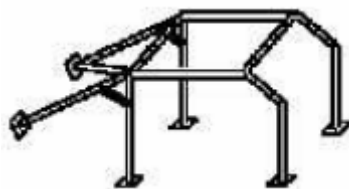


Рисунок 1.8 – Усиление изгибов и соединений

Усиления должны быть выполнены из труб, либо из изогнутого листового металла U-образной формы (см. рис.1.9). Концы этих усилений не должны располагаться: далее половины длины элементов, к которым они крепятся, если это не точка соединения элемента боковой защиты с передней дугой, в этом случае, усиления сочленения передней дуги, могут крепиться к передней дуге в месте крепления боковой защиты на расстоянии от двух до трех диаметров соединяемых труб, считая от вершины угла. Толщина элементов, образующих усиление не должна быть менее 1 мм.

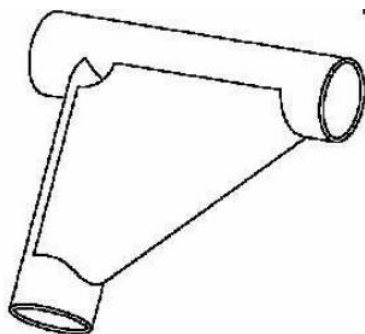


Рисунок 1.9 – Усилитель

Защитные накладки – в местах, где части тела водителя или штурмана могут контактировать с каркасом безопасности, должна быть предусмотрена установка невоспламеняющихся защитных накладок. В местах, где шлемы водителя и штурмана могут контактировать с каркасом безопасности, должна быть предусмотрена установка защитных накладок.

Съемные элементы - если в конструкции каркаса безопасности используются съемные элементы, используемые разъемные соединения должны соответствовать типу, одобренному ФИА. Соединения не должны быть заваренными. Винты и болты должны соответствовать стандарту ISO 8.8 или лучше. Следует отметить, что разборные шарнирные соединения не должны использоваться как часть главной, пе-

редней или боковой дуг, потому что они будут действовать как петли в несущей структуре и допускать ее деформацию. Они используются исключительно для присоединения дополнительных элементов к дугам и для присоединения боковой дуги к главной дуге (рис. 1.1).

Руководство по сварке: Вся сварные швы должны иметь самое высокое возможное качество с полным проваром. Предпочтительна электродуговая сварка в среде защитного газа. Сварной шов должен полностью опоясывать периметр трубы. Хотя хороший внешний вид сварного шва не обязательно гарантирует его качество, плохо выглядящие сварные швы никогда не являются признаком качественного изготовления. При использовании термообработанных сталей должны быть соблюдены специальные инструкции изготовителей (специальные электроды, защитные газы). Следует подчеркнуть, что при использовании термически обработанных или высокоуглеродистых сталей могут возникнуть проблемы, и при плохом изготовлении могут произойти структурные изменения металла (вызванные термическим влиянием), следствием которых могут быть излишняя ломкость или неадекватная пластичность.

#### Требования к материалам каркаса безопасности

Таблица 1.5 - Спецификация используемых труб

Материал	Мин. предел прочности	Размеры (мм)	Использование
Холоднотянутая, нелегированная углеродистая сталь (бесшовная труба), содержащая максимум 0.3% углерода	350 Н/мм <sup>2</sup>	45(1.75")x2,5 или 50(2.0")x2.0	Главная дуга, боковая дуга и их соединение, в зависимости от конструкции.

Для нелегированной стали, максимальное содержание присадок - 1% для марганца и 0.5% для других элементов. При выборе стали, внимание должно быть уделено получению хорошей удлиняемости и свариваемости. Трубы должны быть согнуты процессом холодной гибки, и радиус сгиба по осевой линии должен быть равен, по крайней мере, трем диаметрам трубы. Если сечение трубы в процессе сгиба-

ния принимает овальную форму, отношение минимального к максимальному диаметру должно быть 0.9 или больше.

## **1.2 Обзор типов трансмиссий легковых автомобилей**

Трансмиссия автомобиля служит для передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам. При этом передаваемый крутящий момент изменяется по величине и распределяется в определенном соотношении между ведущими колесами.

Крутящий момент на ведущих колесах автомобиля зависит от передаточного числа трансмиссии, которое равно отношению угловой скорости коленчатого вала двигателя к угловой скорости ведущих колес. Передаточное число трансмиссии выбирается в зависимости от назначения автомобиля, параметров его двигателя и требуемых динамических качеств.

Механические трансмиссии легковых автомобилей с колесной формулой 4x2 с передними ведущими колесами и двигателем спереди. Такие трансмиссии не имеют карданной передачи между коробкой передач и ведущим мостом и включают в себя сцепление, коробку передач, главную передачу, дифференциал и привод ведущих колес, который осуществляется не полуосями, а карданными передачами. При этом в приводе к ведущим управляемым колесам применяются карданные шарниры 9 равных угловых скоростей.

Эти трансмиссии просты по конструкции, компактны, имеют небольшую массу и экономичны.

Переднее расположение двигателя и трансмиссии (рисунок 1.10) улучшает управляемость и устойчивость автомобиля, но при движении на скользких подъемах дороги возможно пробуксовывание ведущих колес вследствие уменьшения на них нагрузки.

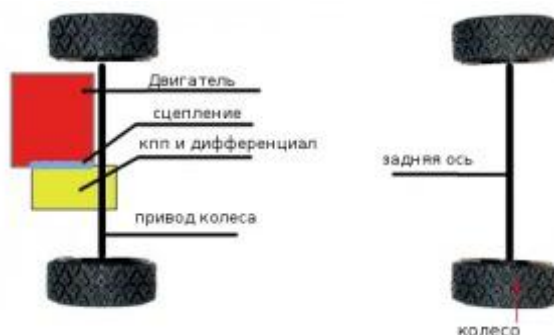


Рисунок 1.10 - Схема трансмиссии переднеприводного автомобиля

На автомобиле с колесной формулой 4x2, передним расположением двигателя и задними ведущими колесами в трансмиссию входят сцепление, коробка передач, карданная передача, главная передача, дифференциал и полуоси. Крутящий момент от двигателя через сцепление передается к коробке передач, где изменяется в соответствии с включенной передачей. От коробки передач крутящий момент через карданную передачу подводится к главной передаче ведущего моста, в которой увеличивается, и далее через дифференциал и полуоси – к задним ведущим колесам.

Для легковых автомобилей такое взаимное расположение двигателя и механизмов трансмиссии обеспечивает равномерное распределение нагрузки между передними и задними колесами и возможность размещения сидений между ними в зоне меньших колебаний кузова. Недостатком является необходимость применения сравнительно длинной карданной передачи с промежуточной опорой.

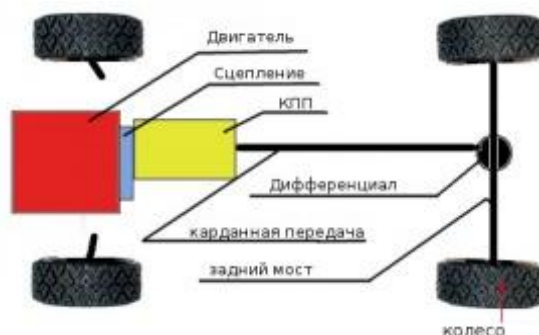


Рисунок 1.11 - Схема трансмиссии заднеприводного автомобиля

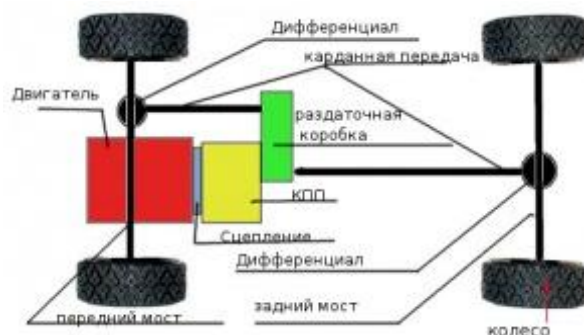


Рисунок 1.12 - Схема трансмиссии полноприводного автомобиля

Механическая трансмиссия автомобиля с колесной формулой 4 x 4 с передним расположением двигателя (рисунок 1.12) кроме сцепления, коробки передач, карданной передачи заднего ведущего моста дополнительно включает в себя передний ведущий управляемый мост и раздаточную коробку, соединенную с этим мостом и коробкой передач карданными передачами. Крутящий момент от раздаточной коробки подводится к переднему и заднему ведущим мостам. В раздаточной коробке имеется устройство для включения привода переднего ведущего моста или межосевой дифференциал, распределяющий крутящий момент между ведущими мостами автомобиля.

Передний ведущий мост имеет главную передачу, дифференциал и привод колес в виде карданных передач с шарнирами равных угловых скоростей, обеспечивающих подведение крутящего момента к передним ведущим управляемым колесам.

### Механическая трансмиссия

Механическая трансмиссия по устройству простая, включает в себя механическую коробку передач и фрикционное сцепление. Преимущество механической коробки передач в том, что она позволяет водителям более точно контролировать машину, поддерживая оптимальную скорость двигателя, чтобы добиться максимальной мощности при хорошем сцеплении и меньшей мощности, когда сцепления с трассой нет. Механическая коробка передач также помогает хорошо входить в поворот и выходить из него. С точки зрения управления, механическая трансмиссия

позволяет более точно контролировать оптимальное число оборотов двигателя. Это позволит иметь максимальную мощность при хорошем сцеплении с трассой, при плохом сцеплении—меньшую мощность.

### Автоматическая трансмиссия

Самым распространенным видом автомобильной автоматической трансмиссии стала гидромеханическая передача. Из-за широкого распространения именно ее называют "автоматическая трансмиссия". АКПП содержит гидродинамический трансформатор, механические передачи и систему управления автоматическим переключением передач. При механической трансмиссии поток мощности от двигателя к колесам автомобиля идет через шестерни, т.е. через жесткую механическую связь. При гидромеханической же передаче этот поток мощности идет еще и через гидродинамический трансформатор, рабочие колеса которого связаны друг с другом через жидкость. Благодаря этому уменьшаются динамические нагрузки, вызываемые как крутильными колебаниями, идущими от двигателя, так и неравномерностью хода зубчатых передач. Смягчаются также динамические эффекты от неровностей дорожного покрытия. Гидродинамический трансформатор благодаря особенностям своей характеристики изменяет (трансформирует) крутящий момент двигателя. Поэтому число передач в механической части гидромеханической передачи делается меньше числа передач в механических коробках передач - 5-6 передач вместо 13-16 в большегрузных автопоездах и на одну-две передачи меньше в легковых автомобилях. Переключение передач в АКПП осуществляется без разрыва потока мощности, обороты двигателя при этом изменяются плавно. Перечисленные свойства АКПП придают автомобилям ряд ценных преимуществ.

Преимущества такой трансмиссии в том, что под действием внешних сопротивлений, крутящий момент автоматически меняется, что позволяет автоматически переключать передачи. Также снижаются пиковые нагрузки на детали трансмиссии и двигатель, что сказывается на их долговечности и надёжности.



В машиностроении принято использовать методику расчета цены нового изделия через стоимость одной тонны массы.

$$C_{1m} = \frac{C_{изд}}{M_{изд}}, \quad (1.1)$$

где  $C_{изд}$  – цена базового изделия, т.руб.;

$M_{изд}$  – масса базового изделия, т.

$$C_{1m} = \frac{600}{1,3} = 462 \text{ тыс.руб.} / t$$

Тогда приближенная цена модернизируемого транспортного средства будет составлять

$$C_{\text{модерниз.ТС}} = M_{\text{модерниз.ТС}} \cdot C_{1m}, \quad (1.2)$$

где  $M_{\text{модерниз.ТС}}$  – масса модернизируемого транспортного средства.

$$C_{\text{проект.ТС}} = 1,4 \cdot 462 = 646,8 \text{ тыс.руб.}$$

Ориентировочное увеличение цены модернизируемого автомобиля составит приблизительно 646,8 тыс. руб., т.к. цена серийного автомобиля колеблется в пределах 1000 тыс. руб.

Улучшение технических характеристик модернизируемого автомобиля предполагает:

- увеличение максимальной скорости на 40 процентов;
- время разгона с 0 до 100 км/ч уменьшится на 2 сек.;
- уменьшится вероятность получить травму у экипажа, за счет использования каркаса безопасности.

Проведенное ТЭО модернизируемого автомобиля показывает эффективность и актуальность принятого конструкторского решения.

## **2 Конструкторская часть**

### **2.1 Разработка технического задания**

#### **2.1.1 Техническое задание на разработку каркаса безопасности транспортного средства категории М1 для участия в автоспорте**

1 . Наименование – каркас безопасности(клетка безопасности) транспортного средства.

2 . Область применения – Транспортные средства категории М1.

3 . Основание для разработки – Дипломное проектирование, актуальность темы, создание более простой и дешевой конструкции, чем существующие аналоги.

4 . Функциональное и эксплуатационное назначение – Объект проектирования должен соответствовать требованиям статьи 253 "Оборудование безопасности" Приложения J к Международному Спортивному Кодексу FIA.

5 . Требования и нормы, определяющие показатели качества.

5.1 Основные требования: легкая, прочная, высокая технологичность при производстве и ремонте для уменьшения издержек. Жесткость и прочность каркаса должны обеспечивать сохранение жизненного пространства водителя.

6. Тип производства – единичное.

7. Показатели уровня унификации и стандартизации – коэффициент стандартизации не менее 65%; Коэффициент унификации по числу деталей не менее 70%.

8. Наименование, число и назначение основных составных частей каркаса безопасности - основные составные части: главная дуга, передняя дуга, продольный элемент.

9. Требования по обеспечению безопасности – Объект проектирования должен соответствовать требованиям по ГОСТ Р 51709-2001.

10. Требования массы и габаритных размеров – Проектируемый каркас безопасности должен вписываться во внутреннее пространство кузова автомобиля, должен отвечать требованиям технической эстетики, а именно обладать композиционной целостностью, информативностью. С точки зрения эргономики изделие должно обеспечивать удобство и легкость управления оператору.

11. Требования к климатическим условиям эксплуатации – Разрабатываемое изделие может эксплуатироваться в климатических условиях от  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

## **2.2 Общая компоновка транспортного средства**

В зависимости от типа привода и расположения двигателя различают следующие виды компоновки:

- Классическая компоновка

По классической компоновке построено наибольшее количество не только самодельных автомобилей, но и выпускаемых промышленностью. В такой компоновке двигатель размещен в передней части автомобиля, а ведущими являются колеса задней оси. К преимуществам данной компоновки относятся возможность получения более одинаковых масс, приходящихся на переднюю и заднюю оси, высокие ходовые качества, возможность использования готовых узлов серийных автомобилей. К недостаткам следует отнести нерациональное использование пространства кузова из-за большого пространства, занятого двигателем и карданом, проходящим через весь кузов по середине пола салона.

- Переднеприводная компоновка

Второй по распространенности является переднеприводная компоновка, при которой передние колеса являются одновременно ведущими и управляемыми. К несомненным достоинствам данной компоновки следует отнести высокую устойчивость при движении, низкие механические потери в трансмиссии вследствие более короткого силового потока, более полное использование пространства кузова (его салона). К недостаткам следует отнести более сложную конструкцию узла двигатель — коробка передач, разгрузку передних колес при трогании.

- С задним расположением двигателя

Третьим типом компоновочного решения являются автомобили с расположенным сзади двигателем. Достоинством подобной схемы является хорошая загруженность ведущих задних колес, возможность более рационально спроектировать салон. К недостаткам относятся меньшая масса, приходящаяся на переднюю ось, что приводит к ухудшению управляемости автомобиля.

Рассмотрение компоновок по типу привода было бы неполным, если не рассматривать так называемые полноприводные автомобили, когда все колеса как передней, так и задней оси являются ведущими. Такая компоновка используется в основном на автомобилях повышенной проходимости. Различают постоянный полный привод и отключаемый полный привод, когда может быть отключен привод на одну из осей: либо переднюю, либо заднюю. К преимуществам такой компоновочной схемы относится повышенная проходимость автомобиля за счет хорошего сцепления всех колес, высокая устойчивость на скользкой дороге. К недостаткам следует отнести повышенную сложность конструкции шасси и привода. Необходимо устанавливать дополнительную раздаточную коробку и дополнительные карданные сочленения. Автомобили, скомпонованные по этой схеме, имеют повышенный расход топлива за счет увеличения механических потерь в трансмиссии.

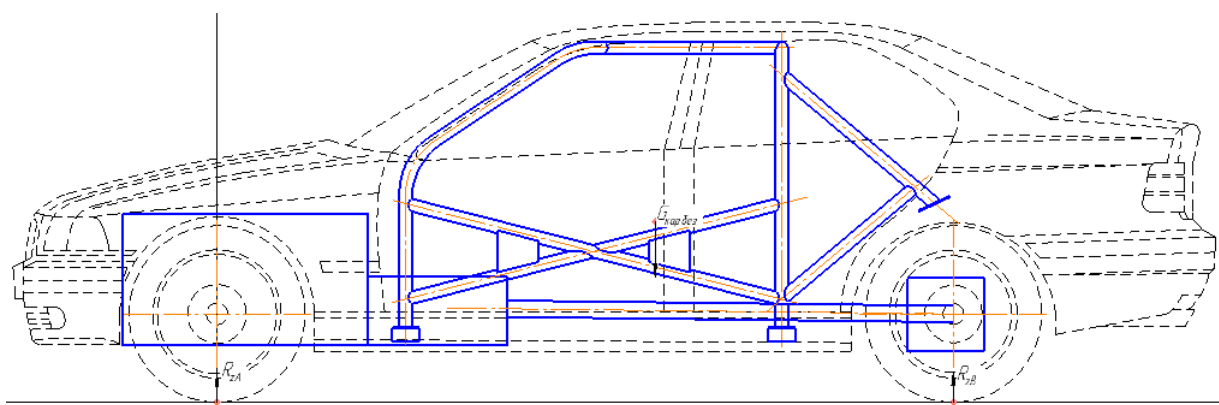


Рисунок 2.5 – Компоновка транспортного средства

Таблица 2.1 - Сравнение характеристик базового и проектируемого автомобилей

Показатель	Базовый вариант	Проектируемый вариант
------------	-----------------	-----------------------

Мощность ДВС, кВт	100	300
Крутящий момент, Нм	203	600
Снаряженная масса, кг	1300	1450
Грузоподъемность, кг	430	280
Максимальная скорость, км/ч	214	290
Вес ДВС, кг	135	250

## 2.3 Определение реакций опорной поверхности на колеса АТС

### 2.3.1 Координаты центра масс проектируемого АТС

Положение центра масс необходимо при расчете нормальных реакций дороги, силы сцепления ходовых колес с опорной поверхностью в тяговом и тормозном режимах движения, анализе устойчивости АТС [5].

Для определения координат центра масс (ЦМ) необходим массив исходных данных, представленный в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Массив исходных данных для расчета координат центра масс проектируемого ТС

Параметр АТС	Размерность	Значение
Собственная снаряженная масса, $m_0$	кг	1380
в т.ч. на переднюю ось, $m_{01}$	кг	820
в т.ч. на заднюю ось, $m_{02}$	кг	560
Полная масса, $m_A$	кг	1730
Масса багажа, $m_B$	кг	120
Масса каркаса безопасности, $m_{кар.без.}$	кг	80
Число посадочных мест, $Z_n$		2
Масса пассажиров, $m_n$	кг	150
Статический радиус колеса, $r_k$	мм	295
База автомобиля, $L$	мм	2700

Составим расчетную схему автомобиля для нахождения координат ЦМ. Относительно центра  $A$  составляем уравнения моментов для нахождения ЦМ порожнего АТС. Ординату  $h_0$  в первом приближении принимаем равной

$$h_0 = 1,5 \cdot r_k, \quad (2.1)$$

где  $r_k$  - статический радиус колеса,  $r_k = 295$  мм;

$$h_0 = 1,5 \cdot 295 = 442,5 \text{ мм.}$$

Абсциссу порожнего автомобиля  $x_0$  определяют из уравнения моментов, составленного относительно центра А (Рисунок 2.6).

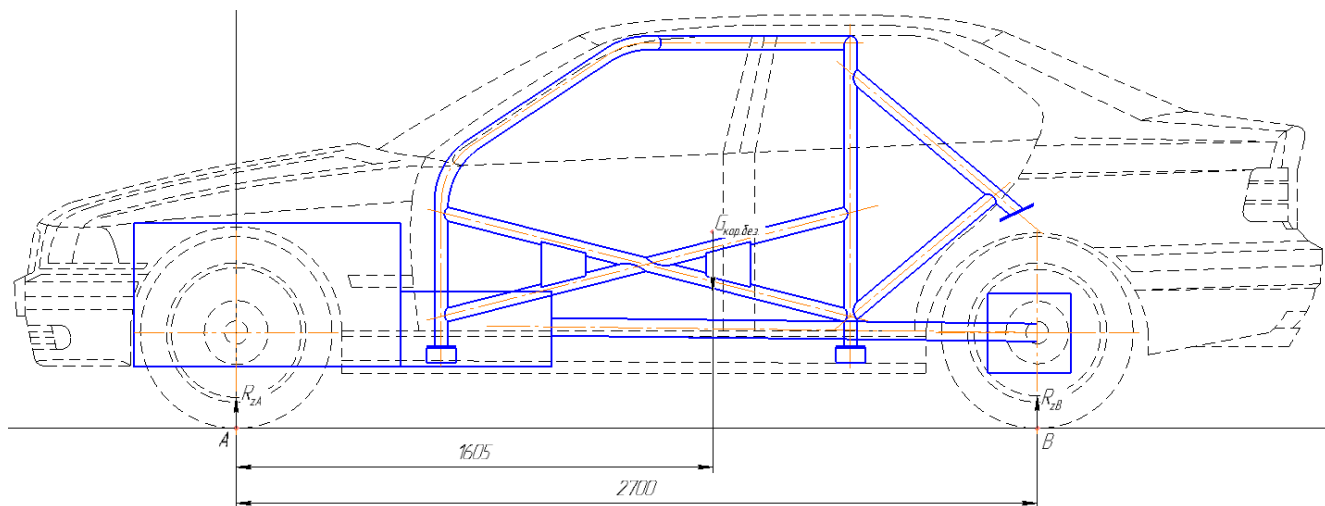


Рисунок 2.6 – Расчетная схема для определения координат ЦМ порожнего АТС

$$(m_1 \cdot l_1 + m_{02} \cdot L - m_0 \cdot x_{0n}) \cdot g = 0, \quad (2.2)$$

$$x_{0n} = \frac{m_1 \cdot l_1 + m_{02} \cdot L}{m_0} = \frac{80 \cdot 1605 + 560 \cdot 2700}{1380} = 1190 \text{ } \mu\text{m}$$

Составляем расчетную схему для нахождения координат ЦМ груженого автомобиля(Рисунок 2.7)

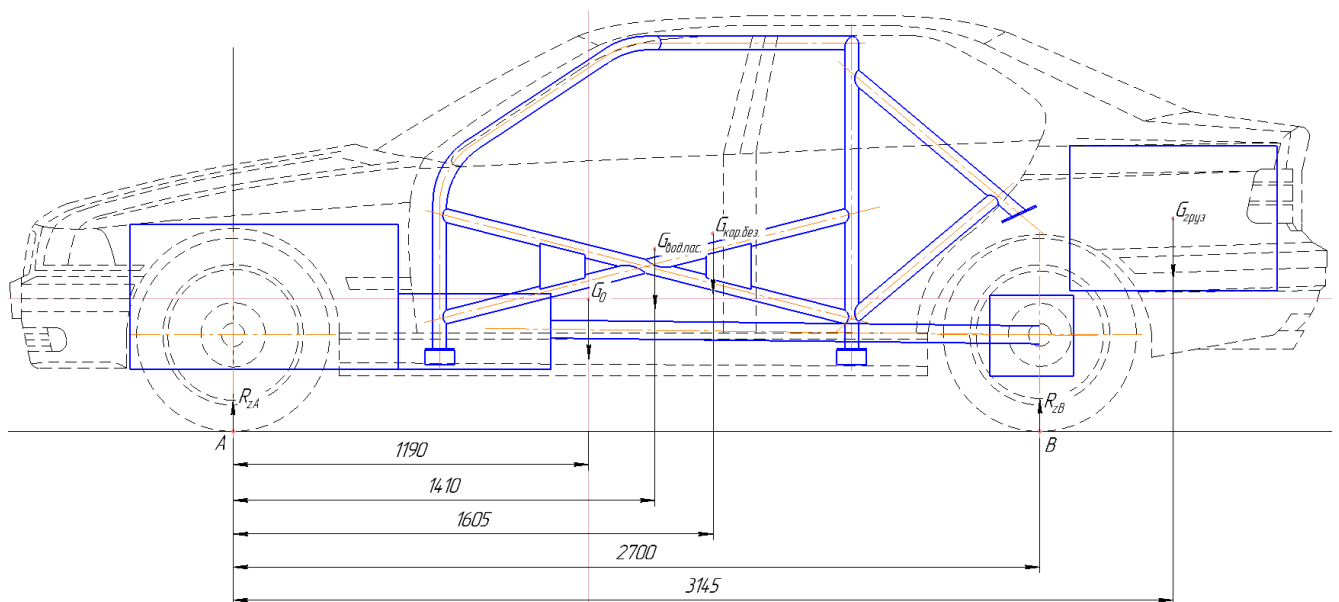


Рисунок 2.7 – Расчетная схема для определения координат ЦМ груженого АТС

Абсциссу груженого автомобиля  $x_0$  определяют из уравнения моментов, составленного относительно центра А (Рисунок 2.7).

$$(m_0 \cdot l_1 + m_1 \cdot l_2 + m_2 \cdot l_3 + m_3 \cdot l_4 - m_a \cdot x_{0ep}) \cdot g = 0 \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} x_{0ep} &= \frac{m_0 \cdot l_1 + m_1 \cdot l_2 + m_2 \cdot l_3 + m_3 \cdot l_4}{m_a} = \\ &= \frac{1380 \cdot 1190 + 150 \cdot 1410 + 80 \cdot 1605 + 120 \cdot 3145}{1730} = 1365 \text{ мм} \end{aligned}$$

Ординату центра масс для полностью загруженного транспортного средства произведем другим расчетом, так как формулу 2.1 применяют только для расчета центра масс порожнего автотранспортного средства [5]. Для нахождения ординаты ЦМ загруженного АТС составим уравнения моментов относительно центра А. Для этого составим расчетную схему представленную на рис. 2.8.

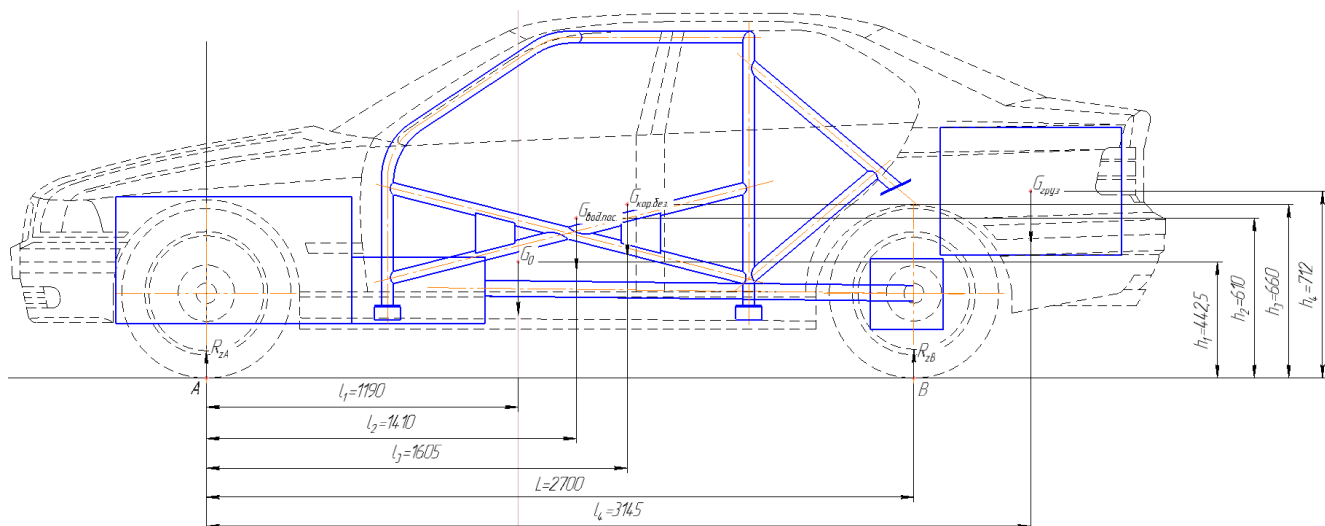


Рисунок 2.8 – Расчетная схема для определения координат ЦМ  
груженного АТС

$$(m_0 \cdot h_1 + m_1 \cdot h_2 + m_2 \cdot h_3 + m_3 \cdot h_4 - m_A \cdot h_A) \cdot g = 0, \quad (2.4)$$

$$h_a = \frac{m_0 \cdot h_1 + m_1 \cdot h_2 + m_2 \cdot h_3 + m_3 \cdot h_4}{m_a} = 0$$

$$h_a = \frac{1380 \cdot 442,5 + 150 \cdot 610 + 80 \cdot 660 + 120 \cdot 712}{1730} = 485 \text{ мм}$$

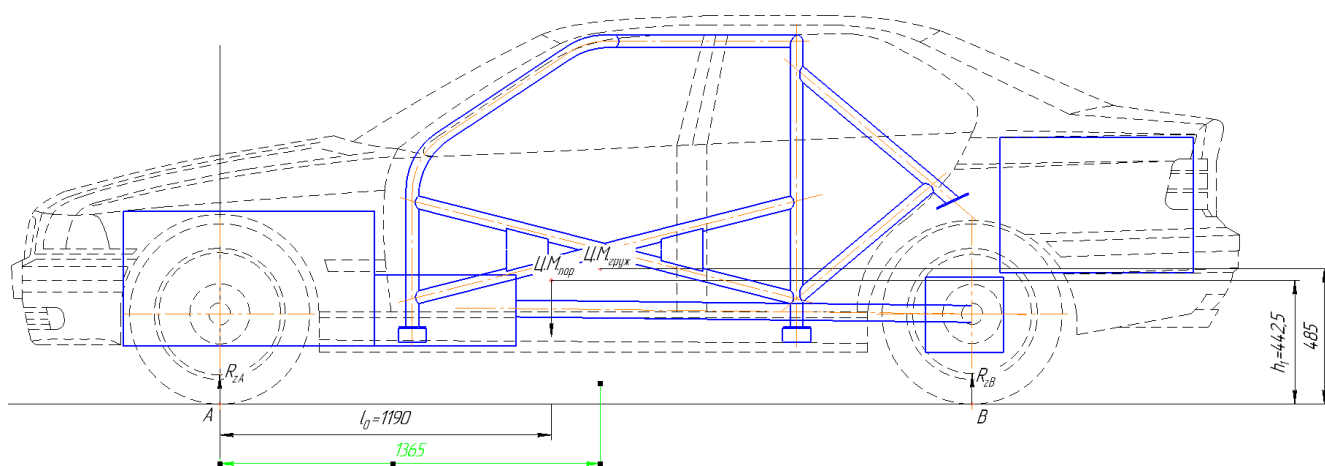


Рисунок 2.9 - Центры масс порожнего и загруженного автомобилей



## 2.4 Тягово-скоростные свойства транспортного средства

### 2.4.1 Тягово-скоростные свойства автомобиля прототипа

Для расчета тягово-скоростных свойств, проектируемого ТС составим массив исходных данных, включающий характеристики двигателя, трансмиссии и условий движения.

Так как не приведены данные о моменте инерции вращающихся частей двигателя, то воспользуемся формулой для приближенных инженерных расчетов:

$$J_{\text{д}} = J_0 + \frac{(i \cdot V_{\text{ц}})^2 \cdot k_{\text{д}}}{\sqrt{i}}, \quad (2.5)$$

где  $i$  – число цилиндров,  $i = 6$ ;

$i \cdot V_{\text{ц}}$  – рабочий объем двигателя;

$k_{\text{д}}$  – корректирующий коэффициент,  $k_{\text{д}} = 50000$ ;

$$J_0 = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{\text{д}} = 0,05 + \frac{(1,991 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 50000}{\sqrt{6}} = 0,13 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Так как внешняя характеристика ДВС, полученная путем стендовых испытаний, отсутствует, воспользуемся для ее расчета методом С.Р. Лейдермана.

1. Определим минимальную частоту вращения коленчатого вала, об/мин:

$$n_{\text{е min}} = 0,2 \cdot n_{\text{е N}}, \quad (2.6)$$

где  $n_{\text{е N}}$  – частота, соответствующая максимальной мощности,  $n_{\text{е N}} = 5900 \text{ об} / \text{мин}$ ;

$$n_{\text{е min}} = 0,2 \cdot 5900 = 1180 \text{ об} / \text{мин}$$

2. Определим шаг варьирования частоты вращения вала, об/мин:

$$\Delta n_e = 0,1 \cdot n_{eN}, \quad (2.7)$$

$$\Delta n_e = 0,1 \cdot 5900 = 590 \text{ об / мин}.$$

3. Определим максимальную частоту вращения вала, об/мин:

$$n_{e\max} = 1,1 \cdot n_{eN}, \quad (2.8)$$

$$n_{e\max} = 1,1 \cdot 5900 = 6490 \text{ об / мин}.$$

4. Определим текущую частоту вращения вала двигателя, об/мин:

$$n_{ei} = n_{e(i-1)} + \Delta n_e, \quad (2.9)$$

$$n_{e1} = n_{e\min} + \Delta n_e = 1180 + 590 = 1770 \text{ об / мин}.$$

и т.д.

5. Определим текущую эффективную мощность двигателя:

$$N_{ei} = N_{e\max} \cdot K_K, \quad (2.10)$$

где  $K_K$  – коэффициент для карбюраторного ДВС

$$N_{e\max} = 100 \text{ кВт}$$

$$N_{e1} = 100 \cdot 0,232 = 23,2 \text{ кВт},$$

и т.д.

6. Определить текущий эффективный крутящий момент:

$$M_{ei} = \frac{30 \cdot N_{ei}}{\pi \cdot n_{ei}}, \quad (2.11)$$

$$M_{el} = \frac{30 \cdot N_{el}}{\pi \cdot n_{e\min}} = \frac{30 \cdot 23200}{3,14 \cdot 1180} = 187,8 \text{ H} \cdot \text{m}$$

Заполняем таблицу.

Таблица 2.3 - Характеристика двигателя М50В20

Наименование параметра							Размерность	Значение		
Максимальная мощность $N_e$ , при 5900 об/мин							кВт	100		
Максимальный крутящий момент $M_e$ , при 3000 об/мин							Н·м	203		
Степень сжатия								10,5		
Скоростная характеристика, зависимость $M_e = f(N_e)$ :										
$N_e$ , об/мин	23,2	36,3	49,6	62,5	74,4	84,7	92,8	98,1	100	97,9
$M_e$ , Н·м	187,8	195,9	200,8	202,4	200,8	195,9	187,8	176,5	161,9	144,1

Таблица 2.4— Массив исходных данных для анализа тягово-скоростных свойств

	Внешняя скоростная характеристика двигателя ( $M_e = f(n_e)$ )									
$n_e$ , об/мин	1180	1770	2360	2950	3540	4130	4720	5310	5900	6490
$M_e$ , Н·м	187,8	195,9	200,8	202,4	200,8	195,9	187,8	176,5	161,9	144,1
$\Delta n_e$	- шаг изменения частоты, об/мин									590
$J_m$	- момент инерции маховика двигателя, кг·м <sup>2</sup>									0,13
$J_k$	- момент инерции колеса, кг·м <sup>2</sup>									0,89
$r_k$	- статический радиус колеса, м									0,295
$U_{г.п}$	- передаточное число главной передачи									3,45
Передаточные числа коробки передач ( $u_{кп}$ ):										
№ переда- чи	1	2	3	4	заднего хода					
$u_{кп}$	3,831	2,203	1,4	1	3,46					
$\eta_{тр}$	- КПД трансмиссии									0,95
$m_a$	- фактическая масса груженого АТС, кг									1730
$m_{aв}$	- масса, приходящаяся на ведущие колеса АТС, кг									780
$R_{zв}$	- нормальные реакции дороги на ведущих колесах, Н									7652
$C_x$	- коэффициент аэродинамического сопротивления									0,31
$F_a$	- лобовая площадь АТС, м <sup>2</sup>									2,36
$f$	- коэффициент сопротивления качению									0,018
$\varphi$	- коэффициент сцепления, сфальто-бетон									0,75
$i$	- продольный уклон дороги									0,1
$\rho$	- плотность воздуха (при $t_a=20^\circ\text{C}$ ), кг/м									1,205

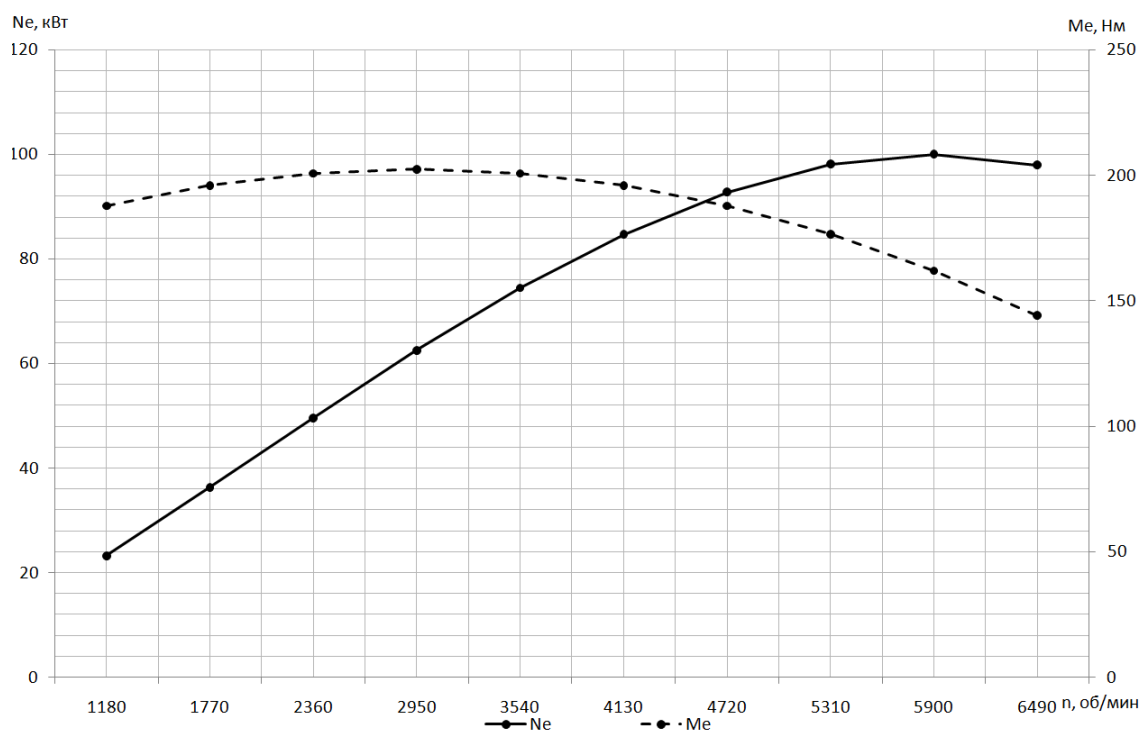


Рисунок 2.9 – Внешняя скоростная характеристика двигателя M50B20

## 2.4.2 Тягово-скоростные свойства проектируемого прототипа

$$J_d = 0,05 + \frac{(5,98 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 50000}{\sqrt{12}} = 0,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Таблица 2.5 - Характеристика двигателя M70B60

Наименование параметра							Размерность	Значение		
Максимальная мощность $N_e$ , при 6000 об/мин							кВт	300		
Максимальный крутящий момент $M_e$ , при 3000 об/мин							Н·м	600		
Степень сжатия								10,5		
Скоростная характеристика, зависимость $M_e = f(N_e)$ :										
$N_e$ ,об/мин	23,2	36,3	49,6	62,5	74,4	84,7	92,8	98,1	100	97,9
$M_e$ , Н·м	187,8	195,9	200,8	202,4	200,8	195,9	187,8	176,5	161,9	144,1

Таблица 2.6 – Массив исходных данных для анализа тягово-скоростных свойств проектируемого автомобиля

	Внешняя скоростная характеристика двигателя ( $M_e = f(n_e)$ )									
$n_e$ , об/мин	69,6	108,9	148,8	187,5	223,2	254,1	278,4	294,3	300	293,7
$M_e$ , Н·м	554,1	578,0	592,4	597,1	592,4	578,0	554,1	520,7	477,7	425,2
$\Delta n_e$	- шаг изменения частоты, об/мин									600
$J_m$	- момент инерции маховика двигателя, кг·м <sup>2</sup>									0,6
$J_k$	- момент инерции колеса, кг·м <sup>2</sup>									0,89
$r_k$	- статический радиус колеса, м									0,295
U <sub>г.п</sub>	- передаточное число главной передачи									3,15
Передаточные числа коробки передач ( $u_{кп}$ ):										
№ переда- чи	1	2	3	4	заднего хода					
$u_{кп}$	2,481	1,479	1	0,73	2,092					
$\eta_{тр}$	- КПД трансмиссии									0,95
$m_a$	- фактическая масса груженого АТС, кг									1730
$m_{ав}$	- масса, приходящаяся на ведущие колеса АТС, кг									780
$R_{Z\phi}$	- нормальные реакции дороги на ведущих колесах, Н									7652
$C_X$	- коэффициент аэродинамического сопротивления									0,31
$Fa$	- лобовая площадь АТС, м <sup>2</sup>									2,36
$f$	- коэффициент сопротивления качению									0,018
$\varphi$	- коэффициент сцепления, сфальто-бетон									0,75
$i$	- продольный уклон дороги									0,1
$\rho$	- плотность воздуха (при $t_e=20^{\circ}\text{C}$ ), кг/м									1,205

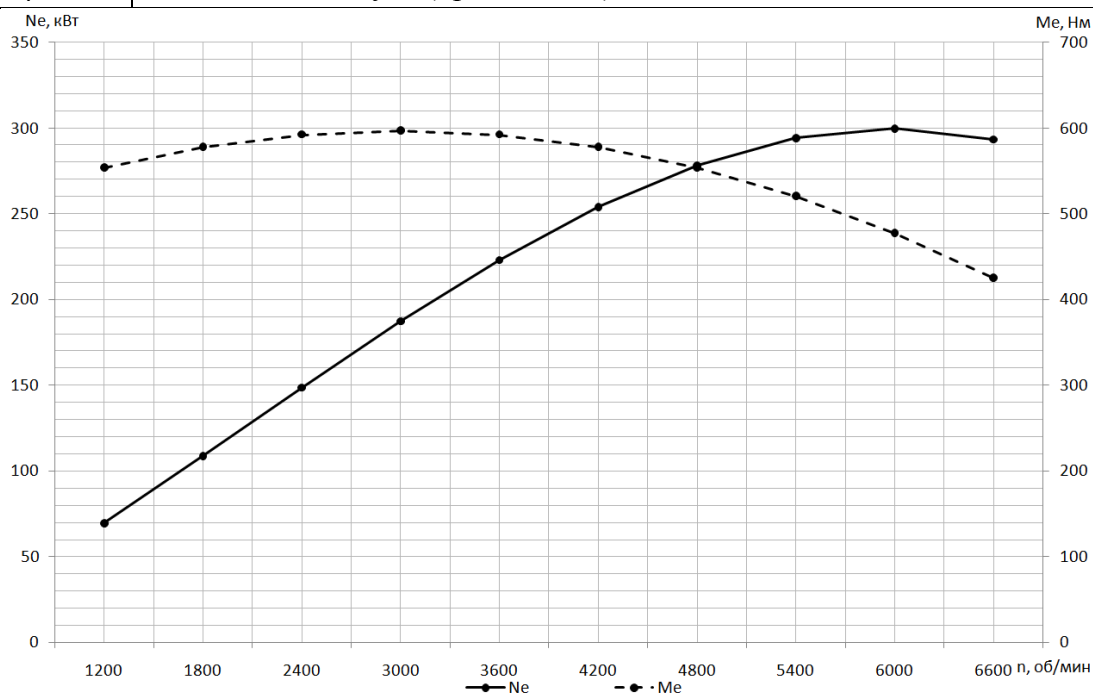


Рисунок 2.10 – Внешняя скоростная характеристика двигателя М70В60

## 2.5. Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений

### 2.5.1 Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений базового автомобиля

Рассчитаем параметры тяговой, динамической характеристик для минимальных оборотов двигателя на первой передаче, остальные данные для расчетов представлены в таблице 2.4.

Скорость ТС определим из выражения

$$V_a = \frac{(2\pi \cdot r \cdot n_e)}{(u_{mp} \cdot 60)} \quad (м / с); \quad (2.12)$$

где  $n_e$  - обороты двигателя.

$$V_a = \frac{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,295 \cdot 1180)}{(13,22 \cdot 60)} = 2,76 \quad м / с; \quad (2.13)$$

Определим силу тяги ведущих колес:

$$P_m = \frac{M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp}}{r_k}; \quad (2.14)$$

где  $M_e$  - крутящий момент двигателя.

$$P_m = \frac{187,8 \cdot 13,22 \cdot 0,95}{0,295} = 7995,22 \quad Н$$

Определим силу сопротивления воздуха

$$P_B = \frac{C_x \cdot \rho \cdot F_a \cdot V_a^2}{2}; \quad (2.15)$$

где  $C_x$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;

$\rho$  – плотность воздуха;

$F_a$  – лобовая площадь;

$V_a$  - скорость автомобиля.

$$P_B = \frac{0,31 \cdot 1,205 \cdot 2,36 \cdot 2,76^2}{2} = 3,35 \text{ Н}$$

Определим коэффициент сопротивления качению

$$f = f_0 \cdot (1 + (V_a^2 / 1500)); \quad (2.16)$$

где  $f_0$  – начальный коэффициент сопротивления качению.

$$f = 0,03 \cdot (1 + (2,36^2 / 1500)) = 0,03$$

Определим коэффициент сопротивления дороги на подъеме с заданным уклоном

$$\psi = f + i; \quad (2.17)$$

где  $i$  – продольный уклон дороги.

$$\psi = 0,03 + 0,1 = 0,13$$

Сила сопротивления движению автомобиля на горизонтальном участке:

$$P_c = P_B + m_a \cdot g \cdot f \quad (2.18)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

$$P_c = 3,35 + 1730 \cdot 9,8 \cdot 0,03 = 515,07 \text{ Н}$$

Определим силу сопротивления движению автомобиля на подъеме с заданным уклоном:

$$P_c^n = P_B + m_a \cdot g \cdot \psi \quad (2.19)$$

$$P_c^n = 3,35 + 1730 \cdot 9,8 \cdot 0,13 = 2212,2 \text{ Н}$$

Определим динамический фактор по силе тяги

$$D = (P_m - P_B) / m_a \cdot g \quad (2.20)$$

$$D = (7995,22 - 3,35) / 1730 \cdot 9,8 = 0,47$$

Определим динамический фактор по сцеплению, для коэффициента сцепления 0,7

$$D_\varphi = (R_{zb} - P_B) / m_a \cdot g \quad (2.14)$$

где  $R_{zb}$ - нормальная реакция дороги приходящая на ведущие колеса.

при минимальной скорости движения 2,76 м/с.

$$D_\varphi = (780 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 3,35) / 1730 \cdot 9,8 = 0,315$$

при средней скорости движения 22,6 м/с

$$D_\varphi = (780 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 225,7) / 1730 \cdot 9,8 = 0,302$$

при максимальной скорости движения 52,8 м/с

$$D_\varphi = (780 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 1229) / 1730 \cdot 9,8 = 0,243$$

Динамический фактор для других условий движения рассчитывается аналогично, результаты сводим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты расчета динамического фактора по сцеплению

$\varphi$	$D_\varphi$		
	$V_{min}$	$V_{cp}$	$V_{max}$



0,7(асфальтобетон сухой)	0,315	0,302	0,243
0,4(асфальтобетон мокрый)	0,18	0,16	0,11

Результаты расчетов тягово-скоростной характеристики транспортного средства представлены в приложении А1.

По полученным данным построим графические зависимости.

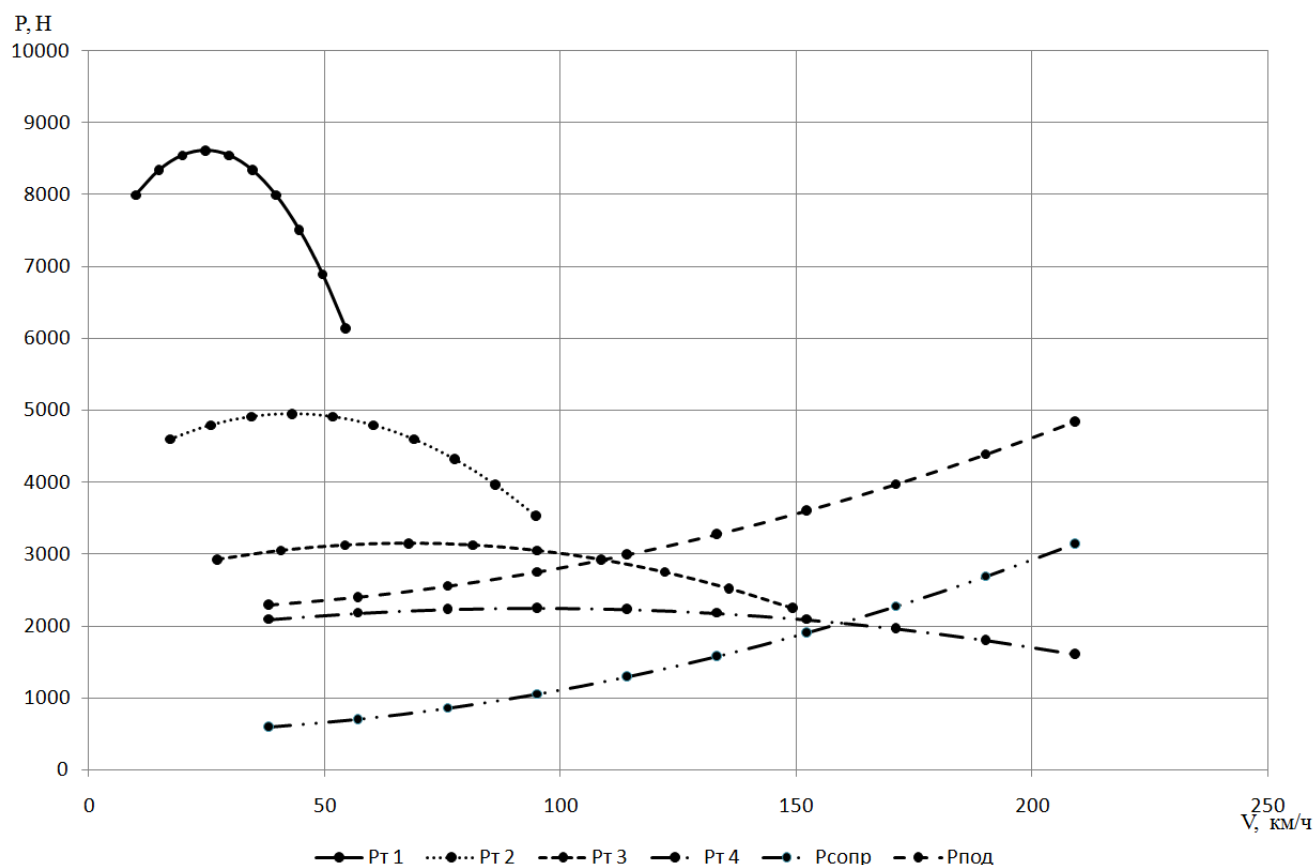


Рисунок 2.10 – Тяговая характеристика базового транспортного средства

$P_{т1} \dots P_{т4}$  – сила тяги на 1...4 передачах;  $P_{сопр}$  – сила сопротивления движению на горизонтальном участке при  $f=0,03$ ;  $P_{под}$  – сила сопротивления движению на подъеме при  $f=0,03$

Таблица 2.8 – Результаты расчета тяговой и динамической характеристик, графика ускорений

Параметр	Размерность	Результаты расчета
----------	-------------	--------------------

$n_e$	об/мин	1180	1770	2360	2950	3540	4130	4720	5310	5900	6490
$M_e$	Нм	187,8	195,9	200,8	202,4	200,8	195,9	187,8	176,5	161,9	144,1
Передача №1											
$u_{кп}$		13,22									
$\delta$		1,138									
$V_a$	м/с	2,76	4,13	5,51	6,89	8,27	9,65	11,03	12,40	13,78	15,16
$P_T$	Н	7995,22	8339,85	8546,62	8615,53	8546,62	8339,8	7995,22	7512,7	6892,45	6134,27
$P_B$	Н	3,35	7,54	13,40	20,94	30,15	41,03	53,59	67,83	83,74	101,33
$f$		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$\psi$		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$P_c$	Н	515,07	522,48	532,85	546,19	562,50	581,77	604,00	629,20	657,36	688,49
$P_c^n$	Н	2212,20	2219,61	2229,98	2243,32	2259,63	2278,9	2301,13	2326,3	2354,49	2385,62
$D$		0,47	0,49	0,50	0,51	0,50	0,49	0,47	0,44	0,40	0,36
$J$	м/с <sup>2</sup>	3,80	3,97	4,07	4,10	4,06	3,94	3,75	3,50	3,17	2,77
Передача №2;											
$u_{кп}$		7,6									
$\delta$		1,064									
$V_a$	м/с	4,794	7,191	9,588	11,984	14,381	16,778	19,175	21,572	23,969	26,366
$P_T$	Н	4597,61	4795,79	4914,70	4954,32	4914,70	4795,8	4597,61	4320,2	3963,47	3527,49
$P_B$	Н	10,13	22,79	40,52	63,31	91,17	124,09	162,07	205,12	253,24	306,42
$f$		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$\psi$		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$P_c$	Н	527,07	549,48	580,86	621,20	670,51	728,78	796,01	872,21	957,38	1051,51
$P_c^n$	Н	2224,20	2246,61	2277,99	2318,33	2367,64	2425,9	2493,14	2569,3	2654,51	2748,64
$D$		0,27	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19
$J$	м/с <sup>2</sup>	2,21	2,31	2,35	2,35	2,31	2,21	2,06	1,87	1,63	1,34
Передача №3;											
$u_{кп}$		4,83									
$\delta$		1,043									
$V_a$	м/с	7,5	11,3	15,1	18,9	22,6	26,4	30,2	33,9	37,7	41,5
$P_T$	Н	2921,8	3047,7	3123,3	3148,5	3123,3	3047,7	2921,8	2745,5	2518,8	2241,7
$P_B$	Н	25,1	56,4	100,3	156,8	225,7	307,3	401,3	507,9	627,0	758,7
$f$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
$\psi$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
$P_c$	Н	553,5	609,0	686,7	786,6	908,7	1053,0	1219,5	1408,2	1619,0	1852,1
$P_c^n$	Н	2250,7	2306,2	2383,9	2483,7	2605,8	2750,1	2916,6	3105,3	3316,2	3549,3
$D$		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
$J$	м/с <sup>2</sup>	1,3	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9	0,7	0,5	0,2

Продолжение табл. 2.8

Передача №4;											
$u_{кп}$		3,45									
$\delta$		1,035									
$V_a$	м/с	10,6	15,8	21,1	26,4	31,7	37,0	42,2	47,5	52,8	58,1
$P_T$	Н	2087,0	2176,9	2230,9	2248,9	2230,9	2176,9	2087,0	1961,0	1799,1	1601,2

$P_B$	H	49,2	110,6	196,6	307,3	442,4	602,2	786,6	995,5	1229,0	1487,1
$f$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\psi$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$P_c$	H	596,2	704,9	857,2	1053,0	1292,3	1575,1	1901,4	2271,2	2684,5	3141,4
$P_c^n$	H	2293,3	2402,1	2554,3	2750,1	2989,4	3272,2	3598,5	3968,4	4381,7	4838,5
$D$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
$J$	м/с <sup>2</sup>	0,8	0,8	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1	-0,2	-0,5	-0,9

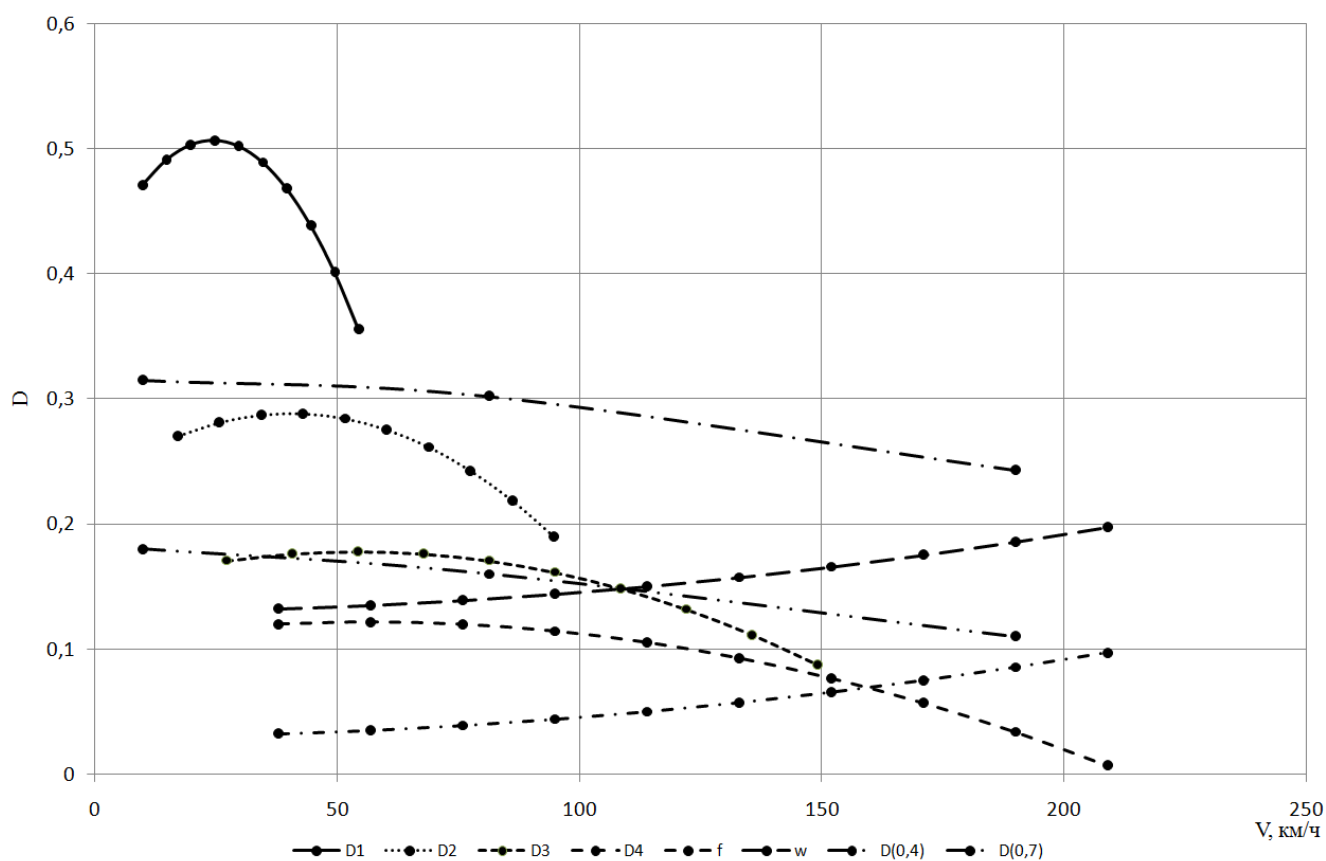


Рисунок 2.11– Динамическая характеристика транспортного средства

$D_1 \dots D_4$  – динамический фактор по силе тяги на 1...4 передачах;  $D_{\varphi=0,4}$  – динамический фактор по сцеплению при  $\varphi=0,4$ ;  $D_{\varphi=0,7}$  – динамический фактор по сцеплению при  $\varphi=0,7$ ;  $f$  – коэффициент сопротивления движению,  $f=0,03$ ;  $\psi$  – коэффициент сопротивления дороги

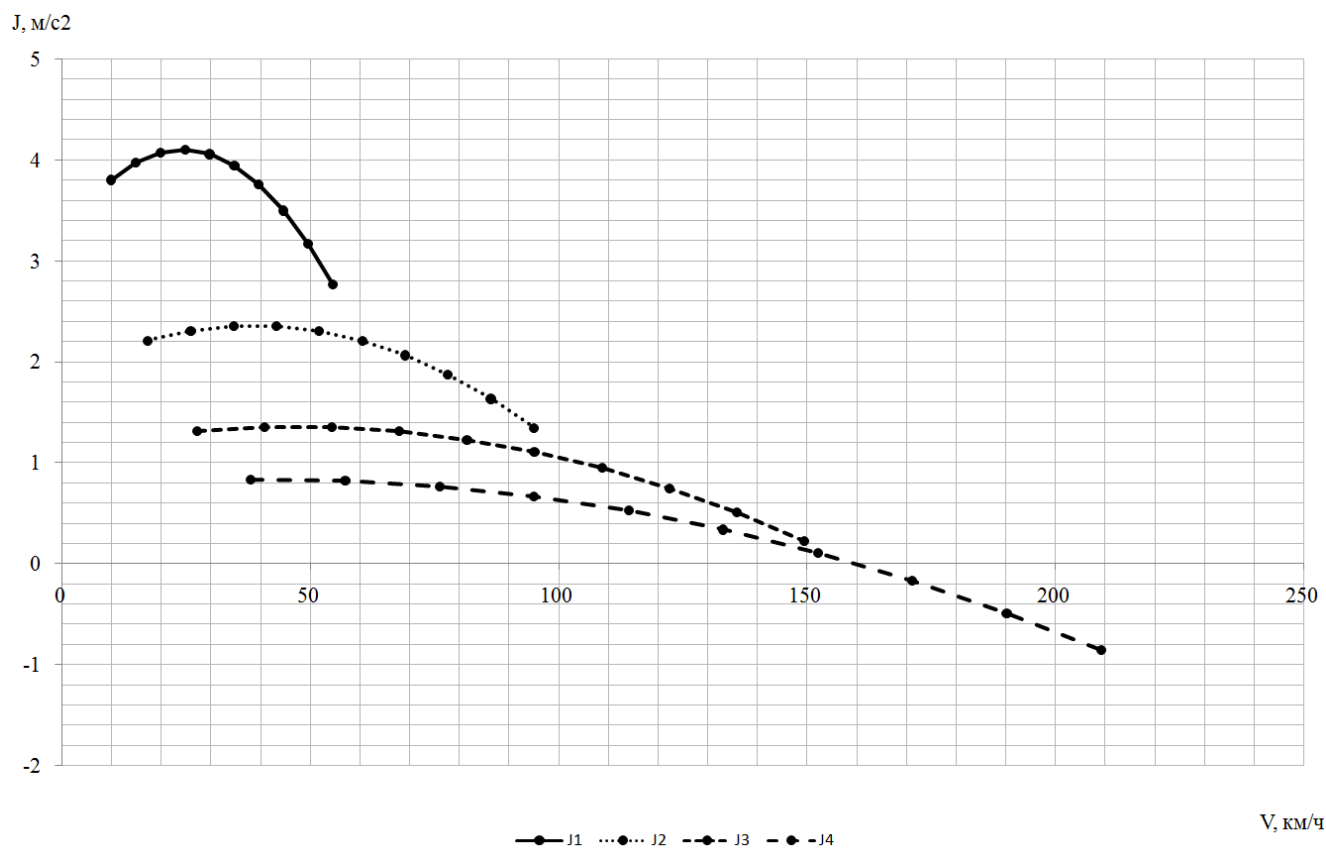


Рисунок 2.12 – Ускорения транспортного средства  
 $J_1 \dots J_4$  – ускорение транспортного средства на 1...4 передачах

## 2.5.2 Расчет и анализ скоростной характеристики

Время и путь разгона при движении на всех передачах переднего хода рассчитываем, используя результаты таблицы 2.8. Взяв  $V_A$  на каждой передаче, сначала определяем среднюю скорость в интервале  $\Delta V_A = (V_{i+1} - V_i)$ :

$$V_{cpi} = 0,5 \cdot (V_{Ai} + V_{A(i+1)}), \quad (2.15)$$

$$V_{cp1} = 0,5 \cdot (2,76 + 4,13) = 3,445 \text{ м / с },$$

(здесь и далее будем рассчитывать параметры только для первого скоростного интервала  $\Delta V$  на первой передаче)

Определяем среднее значение  $J$  в каждом интервале  $\Delta V$ :

$$J_{cpi} = 0,5 \cdot (J_i + J_{(i+1)}), \quad (2.16)$$

$$J_{cp1} = 0,5 \cdot (3,80 + 3,97) = 3,885 \quad \text{м} / \text{с}^2.$$

Время разгона АТС:

$$\Delta t_{Pi} = \frac{\Delta V_A}{J_{cpi}}, \quad (2.17)$$

$$\Delta t_{P1} = \frac{1,38}{3,885} = 0,35 \text{ с}.$$

Преобразовываем интервальный вид записи значений времени разгона в числовой ряд с последовательно нарастающим итогом:

$$t_{P1} = \Delta t_{P1}; \quad t_{P2} = \Delta t_{P1} + \Delta t_{P2}; \quad t_{Pi} = \sum_{i=1}^i \Delta t_{Pi}, \quad (2.18)$$

$$t_{P1} = \Delta t_{P1} = 0,35 \text{ с}.$$

Путь разгона АТС при допущении неизменной скорости в каждом интервале  $\Delta V$ , равной среднему значению, в течение каждого интервала времени равен:

$$\Delta S_{Pi} = V_{cpi} \cdot \Delta t_{Pi}, \quad (2.19)$$

$$\Delta S_{P1} = V_{cp1} \cdot \Delta t_{P1} = 3,445 \cdot 0,35 = 1,21 \text{ м}.$$

Полученные значения преобразовываем аналогично  $t_P$  в числовой ряд:

$$S_{Pi} = \sum_{i=1}^i \Delta S_{Pi}, \quad (2.20)$$

$$S_{P1} = \Delta S_{P1} = 1,21 \text{ м}.$$

Таблица 2.9 – Результаты расчета скоростной характеристики ТС

Параметры	Результаты расчета								
Передача №1: tp=3,33с; ΔVa=1,38 м/с; Sp=30,92 м.									
ΔVa, м/с	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
Vаср, м/с	3,45	4,82	6,20	7,58	8,96	10,34	11,72	13,09	14,47
Jср, м/с <sup>2</sup>	3,88	4,02	4,08	4,08	4,00	3,85	3,63	3,33	2,97
Δtp, с	0,35	0,34	0,34	0,34	0,34	0,36	0,38	0,41	0,46
tp, с	0,35	0,70	1,04	1,37	1,72	2,08	2,46	2,87	3,33
ΔSp, м	1,22	1,65	2,09	2,56	3,09	3,70	4,45	5,42	6,72
Sp, м	1,22	2,88	4,97	7,53	10,62	14,33	18,78	24,20	30,92
Передача №2: tp=10,52 с; ΔVa=2,4 м/с; Sp=172,72 м.									
ΔVa, м/с	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Vаср, м/с	5,99	8,39	10,79	13,18	15,58	17,98	20,37	22,77	25,17
Jср, м/с <sup>2</sup>	2,26	2,33	2,35	2,33	2,26	2,14	1,97	1,75	1,49
Δtp, с	1,06	1,03	1,02	1,03	1,06	1,12	1,22	1,37	1,61
tp, с	1,06	2,09	3,11	4,14	5,20	6,32	7,54	8,91	10,52
ΔSp, м	6,36	8,63	10,98	13,57	16,55	20,17	24,81	31,14	40,52
Sp, м	6,36	14,99	25,97	39,54	56,09	76,25	101,06	132,20	172,72
Передача №3: tp=39,45 с; ΔVa=3,77 м/с; Sp=1136,01 м.									
ΔVa, м/с	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77
Vаср, м/с	9,43	13,20	16,97	20,74	24,52	28,29	32,06	35,83	39,60
Jср, м/с <sup>2</sup>	1,33	1,35	1,33	1,27	1,17	1,02	0,84	0,62	0,36
Δtp, с	2,83	2,79	2,84	2,97	3,23	3,68	4,48	6,08	10,55
tp, с	2,83	5,62	8,46	11,43	14,66	18,34	22,82	28,90	39,45
ΔSp, м	26,7	36,84	48,12	61,67	79,24	104,10	143,50	217,92	417,91
Sp, м	26,7	63,53	111,6	173,33	252,57	356,67	500,17	718,10	1136,01
Передача №4: tp=65,56 с; ΔVa=5,28м/с; Sp=2012,24 м.									
ΔVa, м/с	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
Vаср, м/с	13,20	18,48	23,76	29,04	34,32	39,60	44,88	50,16	55,44
Jср, м/с <sup>2</sup>	0,83	0,79	0,72	0,60	0,43	0,22			
Δtp, с	6,38	6,65	7,36	8,86	12,28	24,02			
tp, с	6,38	13,03	20,39	29,26	41,53	65,56			
ΔSp, м	84,28	122,8	174,9	257,37	421,46	951,37			
Sp, м	84,28	207,13	382,05	639,42	1060,88	2012,24			

### 2.5.3 Расчет тяговой и динамической характеристик, ускорений модернизированного автомобиля

Рассчитаем параметры тяговой, динамической характеристик для минимальных оборотов двигателя на первой передаче, остальные данные для расчетов представлены в таблице 2.6.

Расчеты производим по формулам 2.12 - 2.20.

Скорость транспортного средства

$$V_a = \frac{(2 \cdot 3,14 \cdot 0,295 \cdot 1200)}{(7,82 \cdot 60)} = 4,74 \text{ м/с};$$

Определим силу тяги ведущих колес:

$$P_m = \frac{554,1 \cdot 7,82 \cdot 0,95}{0,295} = 13946,28 \text{ Н}$$

Определим силу сопротивления воздуха

$$P_B = \frac{0,31 \cdot 1,205 \cdot 2,36 \cdot 4,74^2}{2} = 9,91 \text{ Н}$$

Определим коэффициент сопротивления качению

$$f = 0,03 \cdot (1 + (4,74^2 / 1500)) = 0,03$$

Определим коэффициент сопротивления дороги на подъеме с заданным уклоном

$$\psi = 0,03 + 0,1 = 0,13$$

Сила сопротивления движению автомобиля на горизонтальном участке:

$$P_c = 9,91 + 1730 \cdot 9,8 \cdot 0,03 = 526,68 \text{ Н}$$

Определим силу сопротивления движению автомобиля на подъеме с заданным уклоном

$$P_c^n = 9,91 + 1730 \cdot 9,8 \cdot 0,13 = 2223,81 \text{ Н}$$

Определим динамический фактор по силе тяги

$$D = (13946,28 - 9,91) / 1730 \cdot 9,8 = 0,82$$

Определим динамический фактор по сцеплению, для коэффициента сцепления 0,7

при минимальной скорости движения 4,74 м/с.

$$D_\varphi = (865 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 9,91) / 1730 \cdot 9,8 = 0,149$$

при средней скорости движения 41,2 м/с

$$D_\varphi = (865 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 747,1) / 1730 \cdot 9,8 = 0,1$$

при максимальной скорости движения 72,5 м/с

$$D_\varphi = (865 \cdot 9,8 \cdot 0,7 - 2317,5) / 1730 \cdot 9,8 = 0,1$$

Динамический фактор для других условий движения рассчитывается аналогично, результаты сводим в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Результаты расчета динамического фактора по сцеплению

$\varphi$	$D_\varphi$		
	$V_{min}$	$V_{cp}$	$V_{max}$
0,7(асфальтобетон сухой)	0,149	0,1	0,1
0,4(асфальтобетон мокрый)	0,2	0,155	0,06

Результаты расчетов тягово-скоростной характеристики транспортного средства представлены в приложении А1.

Таблица 2.11 – Результаты расчета тяговой и динамической характеристик, графика ускорений

Пара-	Раз-	Результаты расчета
-------	------	--------------------



метр	мер- ность										
$n_e$	об/мин	69,6	108,9	148,8	187,5	223,2	254,1	278,4	294,3	300	293,7
$M_e$	Нм	554,1	578,0	592,4	597,1	592,4	578,0	554,1	520,7	477,7	425,2
Передача №1											
$u_{кп}$		7,81									
$\delta$		1,066									
Va	м/с	4,74	7,11	9,48	11,85	14,22	16,59	18,96	21,33	23,71	26,08
$P_T$	Н	13946,28	14547,4	14908,1	15028,33	14908,1	14547	13946,2	13104	12022,6	10700,1
$P_B$	Н	9,91	22,29	39,63	61,92	89,17	121,37	158,53	200,63	247,70	299,71
$f$		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$\psi$		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
$P_c$	Н	526,68	548,60	579,29	618,75	666,97	723,97	789,74	864,27	947,57	1039,64
$P_c^n$	Н	2223,81	2245,73	2276,42	2315,88	2364,10	2421,1	2486,87	2561,4	2644,70	2736,77
$D$		0,82	0,86	0,88	0,88	0,87	0,5	0,81	0,76	0,69	0,61
$J$	м/с <sup>2</sup>	7,27	7,59	7,77	7,81	7,72	7,49	7,13	6,63	6,00	5,24
Передача №2;											
$u_{кп}$		4,66									
$\delta$		1,042									
Va	м/с	7,953	11,930	15,906	19,883	23,859	27,836	31,812	35,789	39,765	43,742
$P_T$	Н	8313,80	8672,15	8887,18	8958,85	8887,18	8672,1	8313,80	7812,1	7167,07	6378,69
$P_B$	Н	27,88	62,73	111,52	174,25	250,92	341,53	446,08	564,57	697,01	843,38
$f$		0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
$\psi$		0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17
$P_c$	Н	558,49	620,17	706,54	817,57	953,28	1113,6	1298,73	1508,4	1742,87	2001,95
$P_c^n$	Н	2255,62	2317,30	2403,67	2514,70	2650,41	2810,8	2995,86	3205,5	3440,00	3699,08
$D$		0,49	0,51	0,52	0,52	0,51	0,4	0,46	0,4	0,38	0,33
$J$	м/с <sup>2</sup>	4,30	4,47	4,54	4,52	4,40	4,19	3,89	3,50	3,01	2,43
Передача №3;											
$u_{кп}$		3,15									
$\delta$		1,034									
Va	м/с	11,8	17,6	23,5	29,4	35,3	41,2	47,1	52,9	58,8	64,7
$P_T$	Н	5621,2	5863,5	6008,9	6057,4	6008,9	5863,5	5621,2	5282,0	4845,9	4312,8
$P_B$	Н	61,0	137,2	243,9	381,2	548,9	747,1	975,8	1235,0	1524,7	1844,8
$f$		0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$\psi$		0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$P_c$	Н	617,1	752,0	940,9	1183,8	1480,7	1831,5	2236,3	2695,1	3207,9	3774,6
$P_c^n$	Н	2314,2	2449,2	2638,1	2880,9	3177,8	3528,6	3933,4	4392,2	4905,0	5471,7
$D$		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
$J$	м/с <sup>2</sup>	2,8	2,9	2,8	2,7	2,5	2,3	1,9	1,4	0,9	0,3

Передача №4;	
$u_{кп}$	2,3
$\delta$	1,031

$V_a$	м/с	16,1	24,2	32,2	40,3	48,3	56,4	64,5	72,5	80,6	88,6
$P_T$	Н	4103,5	4280,4	4386,5	4421,9	4386,5	4280,4	4103,5	3855,9	3537,5	3148,4
$P_B$	Н	114,4	257,5	457,8	715,3	1030,0	1401,9	1831,1	2317,5	2861,1	3461,9
$f$		0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
$\psi$		0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
$P_c$	Н	711,7	964,9	1319,4	1775,2	2332,3	2990,6	3750,2	4611,1	5573,3	6636,8
$P_c^n$	Н	2408,8	2662,0	3016,5	3472,3	4029,4	4687,7	5447,4	6308,3	7270,5	8334,0
$D$		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
$J$	м/с <sup>2</sup>	1,9	1,9	1,7	1,5	1,2	0,7	0,2	-0,4	-1,1	-2,0

По полученным данным построим графические зависимости.

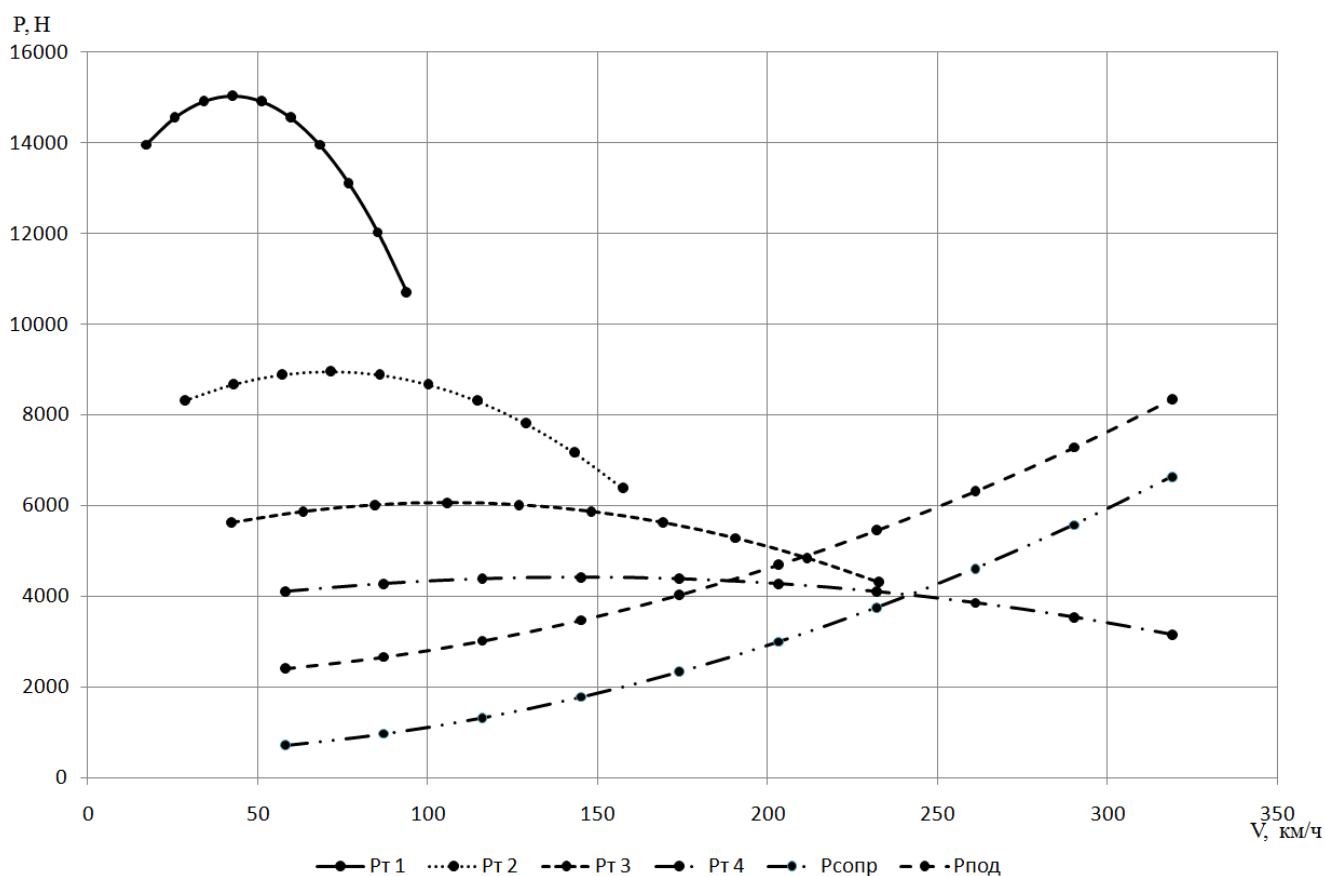


Рисунок 2.13 – Тяговая характеристика модернизированного транспортного средства  
 $P_{т1} \dots P_{т4}$  – сила тяги на 1...4 передачах;  $P_{сопр}$  – сила сопротивления движению на горизонтальном участке при  $f=0,03$ ;  $P_{под}$  – сила сопротивления движению на подъеме при  $f=0,03$

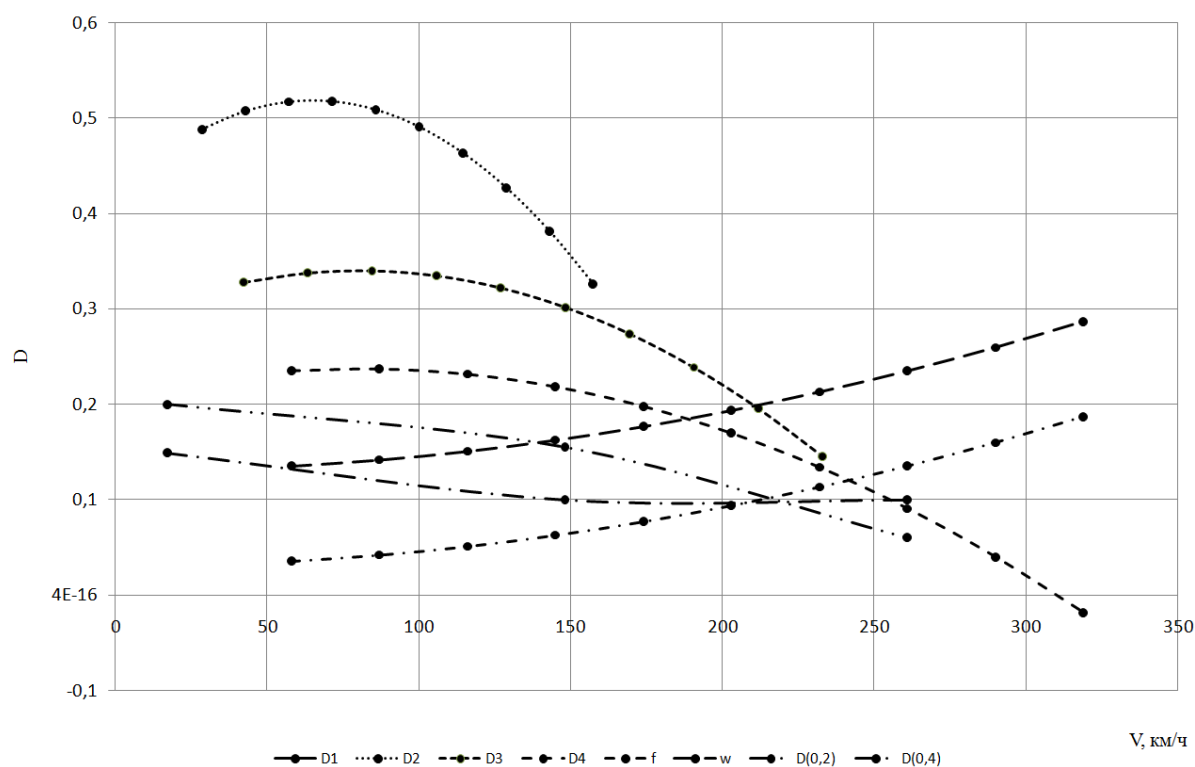


Рисунок 2.14– Динамическая характеристика транспортного средства

$D_1 \dots D_4$  – динамический фактор по силе тяги на 1...4 передачах;  $D_{\varphi=0,4}$  – динамический фактор по сцеплению при  $\varphi=0,4$ ;  $D_{\varphi=0,7}$  – динамический фактор по сцеплению при  $\varphi=0,7$ ;  $f$  – коэффициент сопротивления движению,  $f=0,03$ ;  $\psi$  – коэффициент сопротивления дороги

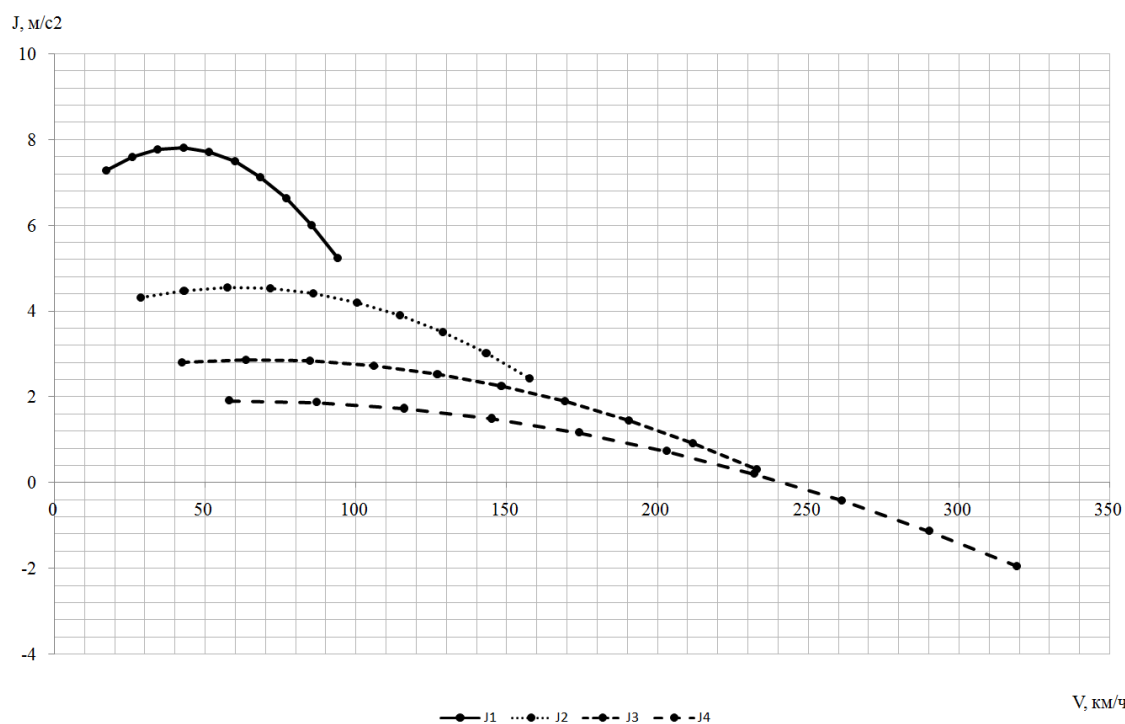


Рисунок 2.15 – Ускорения транспортного средства

$J_1 \dots J_4$  – ускорение транспортного средства на 1...4 передачах

## Расчет и анализ скоростной характеристики

Время и путь разгона при движении на всех передачах переднего хода рассчитываем, используя результаты таблицы 2.11.

Таблица 2.12 – Результаты расчета скоростной характеристики ТС

Параметры	Результаты расчета								
Передача №1: tp=3,01с; ΔVa=2,37 м/с; Sp=48,13 м.									
ΔVa, м/с	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
Vacp, м/с	5,93	8,30	10,67	13,04	15,41	17,78	20,15	22,52	24,89
Jcp, м/с <sup>2</sup>	7,43	7,68	7,79	7,77	7,61	7,31	6,88	6,32	5,62
Δtp, с	0,32	0,31	0,30	0,31	0,31	0,32	0,34	0,38	0,42
tp, с	0,32	0,63	0,93	1,24	1,55	1,87	2,22	2,59	3,01
ΔSp, м	1,89	2,56	3,25	3,98	4,80	5,76	6,94	8,45	10,50
Sp, м	1,89	4,45	7,70	11,68	16,48	22,25	29,18	37,63	48,13
Передача №2: tp=9,23 с; ΔVa=3,98 м/с; Sp=253,32 м.									
ΔVa, м/с	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98	3,98
Vacp, м/с	9,94	13,92	17,89	21,87	25,85	29,82	33,80	37,78	41,75
Jcp, м/с <sup>2</sup>	4,39	4,50	4,53	4,46	4,30	4,04	3,70	3,25	2,72
Δtp, с	0,91	0,88	0,88	0,89	0,92	0,98	1,08	1,22	1,46
tp, с	0,91	1,79	2,67	3,56	4,48	5,47	6,54	7,77	9,23
ΔSp, м	9,01	12,29	15,71	19,50	23,91	29,33	36,37	46,16	61,05
Sp, м	9,01	21,30	37,01	56,51	80,42	109,74	146,11	192,27	253,32
Передача №3: tp=31,97 с; ΔVa=5,88 м/с; Sp=1472,24 м.									
ΔVa, м/с	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88	5,88
Vacp, м/с	14,7	20,58	26,47	32,35	38,23	44,11	49,99	55,87	61,75
Jcp, м/с <sup>2</sup>	2,83	2,84	2,78	2,63	2,39	2,07	1,67	1,18	0,61
Δtp, с	2,08	2,07	2,12	2,24	2,46	2,84	3,52	4,98	9,67
tp, с	2,08	4,15	6,26	8,50	10,96	13,80	17,32	22,30	31,97
ΔSp, м	30,6	42,55	56,02	72,40	93,98	125,15	176,16	278,28	597,11
Sp, м	30,6	73,14	129,16	201,56	295,54	420,68	596,84	875,12	1472,24
Передача №4: tp=46,03 с; ΔVa=8,06 м/с; Sp=2173,91 м.									
ΔVa, м/с	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06	8,06
Vacp, м/с	20,1	28,20	36,25	44,31	52,37	60,42	68,48	76,54	84,59
Jcp, м/с <sup>2</sup>	1,88	1,79	1,60	1,32	0,94	0,46	-0,11	-0,78	-1,55
Δtp, с	4,29	4,50	5,03	6,11	8,60	17,49	-71,51	-10,30	-5,20
tp, с	4,29	8,79	13,82	19,93	28,53	46,03	-25,48	-35,78	-40,98
ΔSp, м	86,3	126,9	182,39	270,95	450,15	1057,11			
Sp, м	86,3	213,3	395,70	666,65	1116,80	2173,91			

## 2.6 Расчет элементов трансмиссии проектируемого автомобиля

### 2.6.1 Расчет карданной передачи

Основные параметры определяются в зависимости от максимальной величины крутящего момента  $M$  на ведущем валу карданной передачи. При расчете карданных передач с колесной формулой 4x2 в качестве расчетного крутящего момента  $M$ , Н·м, принимается максимальный момент на низшей передаче в коробке передач:

$$M = M_{K_{\max}} \cdot I_1 \quad (2.21)$$

где  $M_{K_{\max}}$  - крутящий момент на ведущем валу коробки передач, Н·м (для

механических трансмиссий  $M_{K_{\max}} = M_{B_{\max}}$  - максимальный крутящий

момент двигателя; для гидромеханических трансмиссий  $M_{K_{\max}}$  - макси-

мальный крутящий момент на валу турбины гидротрансформатора при

коэффициенте трансформации, соответствующем КПД трансформатора, равном 0,9);

$I_1$  - передаточное число коробки передач на низшей передаче.

$$M = 0,9 \cdot 600 \cdot 2,48 = 1339,2 \text{ Нм}$$

В качестве определяющего размера карданного шарнира можно принять размер  $H$  между торцами крестовин (рисунок 2.16.).

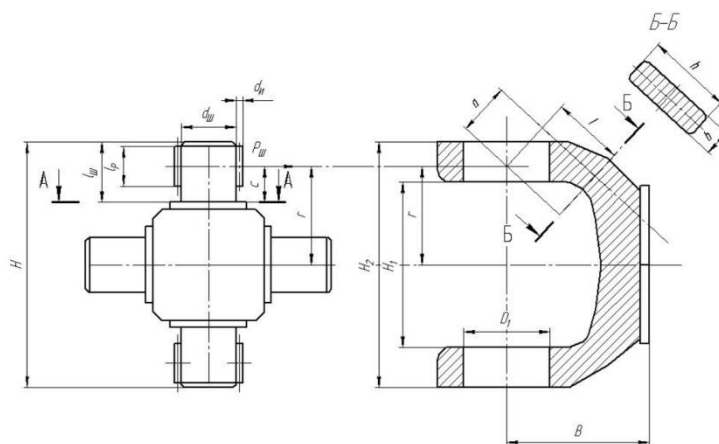


Рисунок 2.16 - Основные размеры карданного шарнира

Расчет карданного вала заключается в вычислении размеров его поперечных сечений, определяемых критическим числом его оборотов и величиной передаваемого крутящего момента при выбранной по аналогу длине.

Максимальная частота вращения карданного вала:

$$n_{k \max} = \frac{9,54 \cdot V_{a \max} \cdot I_{\theta-k}}{r_k} \quad (2.22)$$

где  $V_{a \max}$  - максимальная скорость движения автомобиля, м/с;

$u_{\theta-k}$  - передаточное число от карданного вала к ведущим колесам;

$r_k$  - статический радиус колеса.

$$n_{k \max} = \frac{9,54 \cdot 75,5 \cdot 3,15}{0,295} = 7691 \text{ об / мин.}$$

Критическую частоту вращения карданного вала,  $n_{кр}$ , об/мин, определяют по формуле

$$n_{кр} = 1,185 \cdot 10^5 \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{L_k^2}$$

где  $D$  – наружный диаметр карданного вала,  $D=0,075$  м;

$d$  – внутренний диаметр карданного вала,  $d=0,071$  м;

$L_k$  – длина карданного вала,  $L_k=1,35$  м.

$$n_{кр} = 1,185 \cdot 10^5 \frac{\sqrt{0,075^2 + 0,071^2}}{1,35^2} = 8460 \text{ об / мин.}$$

Валы карданных передач при работе испытывают напряжения кручения  $\tau_k$ , изгиба  $\sigma_{из}$ , напряжение кручения, вызванные неравномерностью вращения  $\tau_3$ . Напряжения кручения,  $\tau_k$ , Па, под действием расчетного момента

$$\tau_k = \frac{M}{W_\tau}$$

где  $W_\tau$  - момент сопротивления трубы на кручение,  $W_\tau=12,47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ .

$$\tau_\kappa = \frac{1339,2}{12,47 \cdot 10^{-6}} = 107,4 \text{ МПа}$$

$$\tau_k \leq [\tau_k] = 200 \text{ МПа}$$

Угол закручивания трубы карданного вала на 1 метр длины вала

$$\varphi = \frac{180 \cdot M}{J_p \cdot G \cdot \pi}; \quad (2.23)$$

где  $G$  – модуль упругости при кручении (для стали  $G=85 \cdot 10^9 \text{ Па}$ );

$J_p$  – полярный момент инерции сечения трубы,  $J_p=37,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ .

$$\varphi = \frac{180 \cdot 1339,2}{37,4 \cdot 10^{-8} \cdot 85 \cdot 10^9 \cdot 3,14} = 2,4$$

$$\varphi \leq [\varphi]$$

где  $[\varphi] = 3 \dots 9$  град/м – допускаемый угол закручивания трубы на единицу длины карданного вала.

Произведенные проверочные расчеты показали, что штатная карданная передача способна передавать крутящий момент развиваемый двигателем М70В60 устанавливаемый в автомобиль взамен штатного М50В20.

## 2.7 Проверочные расчеты каркаса безопасности на прочность

### 2.7.1 Расчет сварных соединений

Расчет прочности соединения (рисунок 2.17) осуществленного стыковым швом и находящегося под действием изгибающего момента  $M=250 \text{ Н} \cdot \text{м}$

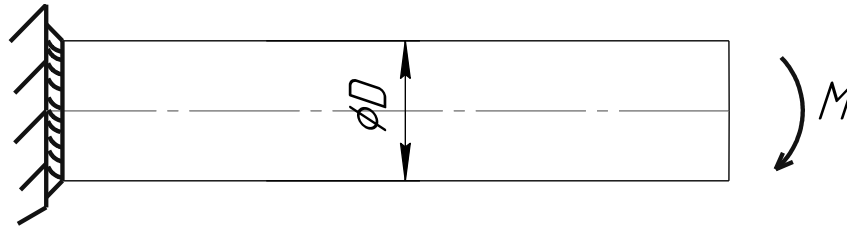


Рисунок 2.17 – Схема расчета сварного шва

Условие прочности

$$\tau_1 = \frac{M}{0,7 \cdot K \cdot l(h + K) + \frac{0,7 \cdot K \cdot h^2}{6}} \leq [\tau_{CP}], (2.24)$$

где  $K$  – ширина шва,  $K=0,003 \text{ м}$ ;

$l$  – длина шва;

$$l = \pi \cdot D, (2.25)$$

$$l = 3,14 \cdot 0,045 = 0,14;$$

$h$  – высота шва,  $h=0,002 \text{ м}$ ;

$$\tau_1 = \frac{250}{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,14 \cdot (0,002 + 0,003) + \frac{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,002^2}{6}} = 180 \cdot 10^6.$$

Допускаемое напряжение  $[\tau_{CP}]=200 \text{ МПа}$  /20/, следовательно  $\tau_1 < [\tau_{CP}]$  - условие выполняется.

Расчет прочности соединения (рисунок 2.18) осуществленного стыковым швом и находящегося под действием изгибающего момента  $M=250 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и продольной силы  $P=150 \text{ Н}$ .



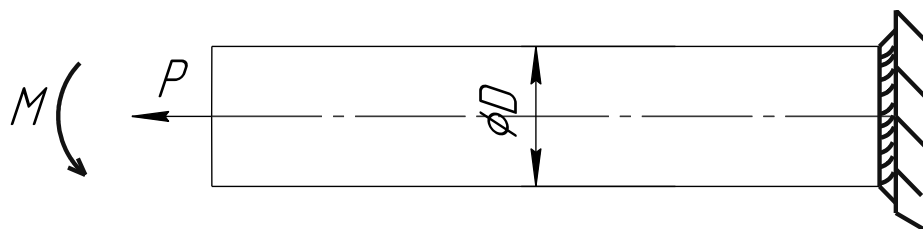


Рисунок 2.18 – Схема расчета сварного шва

Условие прочности запишется следующим образом

$$\tau_2 = \frac{M}{0,7 \cdot K \cdot l(h + K) + \frac{0,7 \cdot K \cdot h^2}{6}} + \frac{P}{F} \leq [\tau_{cp}]; \quad (2.26)$$

$$\tau_1 = \frac{250}{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,0628 \cdot (0,002 + 0,003) + \frac{0,7 \cdot 0,003 \cdot 0,002^2}{6}} + \frac{150}{87 \cdot 10^{-6}} = 147 \cdot 10^6.$$

$\tau_2 < [\tau_{cp}]$  - условие выполняется.

### 2.7.2 Испытание на главной дуге

Каркас безопасности в сборе должен выдерживать вертикальную нагрузку  $7,5W$  ( $W$  соответствует весу автомобиля + 150 кг) приложенную к вершине главной дуги через жесткий штамп. Штамп должен быть изготовлен из стали, должен иметь кромки, скругленные радиусом  $20 \pm 5$  мм, и направленные в сторону каркаса безопасности и должен иметь следующие размеры: Длина = ширина главной дуги + min 100 мм, Ширина = 250 мм  $\pm$  50 мм, Толщина = min 40 мм. Штамп может повторять поперечный профиль главной дуги. Нагрузка должна быть приложена за время менее 15 секунд. При этом испытании, во всей структуре каркаса безопасности не должно возникнуть разрушений или пластических деформаций элементов конструкции, превышающих 50 мм в направлении приложения нагрузки.

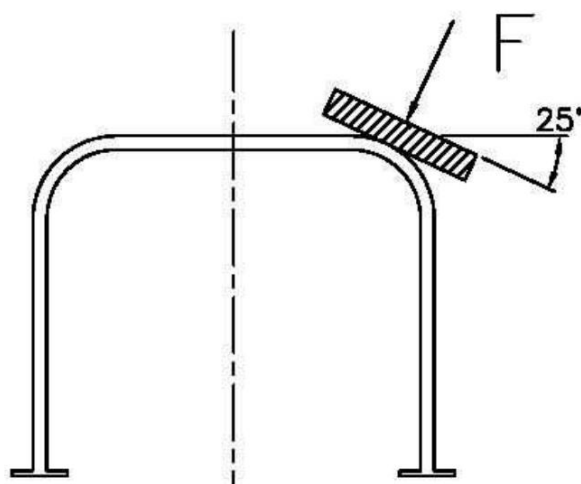


Рисунок 2.19 - Испытание каркаса на главной дуге

### 2.7.3 Испытание на передней дуге

Каркас безопасности в сборе должен выдерживать вертикальную нагрузку  $3,5W$  ( $W$  соответствует весу автомобиля + 150 кг) приложенную к вершине передней дуги в месте пересечения с передним продольным элементом каркаса, через жесткий штамп. Штамп должен быть изготовлен из стали, должен иметь кромки, скругленные радиусом  $20 \pm 5$  мм, и направленные в сторону каркаса безопасности, и должен иметь следующие размеры: Длина = 450 мм  $\pm$  50 мм, ширина = 250 мм  $\pm$  50 мм, толщина = min 40 мм. Конструкция штампа должна оставаться такой, чтобы при приложении нагрузки он оставался в месте пересечения с передним продольным элементом каркаса. Продольная ось штампа должна быть направлена вперед и вниз с углом  $5 \pm 1$  градусов к горизонтали, а его поперечная ось должна быть направлена наружу и вниз с углом  $25 \pm 1$  градусов к горизонтали. Нагрузка должна быть приложена за время менее 15 секунд. При этом испытании, во всей структуре каркаса безопасности не должно возникнуть разрушений или пластических деформаций элементов конструкции, превышающих 100 мм в направлении приложения нагрузки.

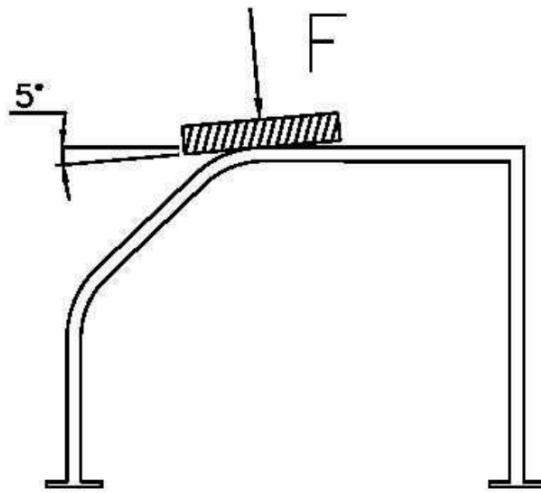


Рисунок 2.20 - Испытание каркаса на передней дуге

### 3 Технологическая часть

Технологический процесс сборки каркаса безопасности внутри кузова автомобиля категории М1.

#### 3.1 Оборудование и материалы

1) УШМ (болгарка) MAKITA 9557HNZ.

2) Лепестковый тарельчатый круг «Зубр» 125x22,23мм Р100

3) Слесарные тисы

4) Маркер

5) Аппарат полуавтоматической дуговой сварки плавящейся электродной проволокой в среде углекислотного газа (ГОСТ 8050-85) с автоматической подачей проволоки «Сварог» ARCTIC MIG 250Y (J04), сила сварочного тока 100-130 ампер для сварки металла толщиной 2,5 мм.

6) Проволока для сварочного полуавтомата «ESAB» OK Autrod 12.51 (1 mm; 15 кг), химический состав для сварки в среде углекислого газа: углерод 0,06-0,14%; марганец 1,6-1,85%; фосфор 0-0,025%; сера 0-0,025%; кремний 0,8-1,15%.

8) Измерительная рулетка.

9) Транспорт.

10)Техническая документация.

### **3.2 Подготовка к сборке каркаса безопасности**

Прежде чем приступить к сборке необходимо:

1. Зачистить детали конструкции от ржавчины,используя болгарку с лепестковым тарельчатым кругом и слесарные тисы.
2. Пронумеровать маркером детали в соответствии с технической документацией.
3. Сгруппировать детали по номерам подборок.
4. Убедится в наличии всех деталей конструкции и необходимых материалов для сборки.
5. Кузов автомобиля должен быть полностью освобожден от элементов интерьера и внутренней отделки.

### **3.3 Сборка каркаса безопасности**

#### **3.3.1 Установка главной дуги каркаса**

Главная дуга каркаса устанавливается за передними сиденьями автомобиля. К порогу автомобиля привариваем деталь КБ1.01.02.03 которая является опорной площадкой для главной дуги. Площадки привариваем к обоим порогам кузова автомобиля. Необходимо контролировать параллельность поверхностей площадок относительно друг друга. К опорным площадкам привариваем деталь КБ1.01.02.01, вертикальные поверхности детали должны быть строго перпендикулярны опорной поверхности детали КБ1.01.02.03.

#### **3.3.2 Установка передней дуги каркаса**

Передняя дуга каркаса устанавливается в кузове автомобиля таким образом, чтобы повторять контуры передних стоек кузова автомобиля. К порогу автомобиля привариваем деталь КБ1.01.02.03 которая является опорной площадкой для детали КБ1.01.02.02. Площадки привариваем к обоим порогам кузова автомобиля. Необходимо контролировать параллельность поверхностей площадок относительно друг друга. К опорным площадкам привариваем деталь КБ1.01.02.02, вертикальные поверхности детали должны быть строго перпендикулярны опорной поверхности детали КБ1.01.02.03. Вертикальные участки деталей КБ1.01.02.01 и КБ1.01.02.02 должны быть строго параллельны друг к другу.

### **3.3.3 Сборка элементов крыши каркаса**

Соединяем между собой детали КБ1.01.02.01 и КБ1.01.02.02 при помощи детали КБ1.01.03.02 так чтобы получился прямоугольник. Детали КБ1.01.03.02 должны быть строго параллельны друг к другу, и перпендикулярны деталям КБ1.01.02.01. В образовавшемся прямоугольнике по диагонали устанавливаем деталь КБ1.01.03.01, обеспечив плотное прилегание торцов деталей КБ1.01.03.01 поверхностям деталей КБ1.01.02.01 и КБ1.01.02.02.

Контроль геометрии согласно чертежу ДП.

Производим полную сварку установленных элементов каркаса между собой.

Контроль сварных швов:

- наружный визуальный осмотр;
- физический осмотр, ультразвуковой дефектоскоп А1212 Мастер.

### **3.3.4 Установка усилителей дверного проема**

Закрепить при помощи прихваток деталь КБ1.01.04.01, обеспечив плотное прилегание торцов детали к поверхностям деталей КБ1.01.02.01 и КБ1.01.02.02 при этом обеспечив угол между деталями 75 градусов, все детали лежат в одной плоско-

сти. При помощи прихваток зафиксировать деталь КБ1.01.04.02 между деталями КБ1.01.04.01 и КБ1.01.02.02, обеспечив плотное прилегание торцов детали к поверхностям деталей КБ1.01.02.02 и КБ1.01.04.01. При сборке необходимо обеспечить угол в 75 градусов между деталью КБ1.01.02.02 и КБ1.01.04.02, и угол 28 градусов между деталью КБ1.01.04.01 и КБ1.01.04.02, все детали лежат в одной плоскости. Повторить процедуру для второй стороны каркаса безопасности.

### **3.3.5 Установка усилителя главной дуги**

Деталь КБ1.01.05.01 установить по диагонали между элементами детали КБ1.01.02.01, угол установки детали КБ1.01.05.01 56 градусов. При помощи прихваток зафиксировать деталь обеспечив плотное прилегание торцов детали к поверхностям детали КБ1.01.02.01. Деталь КБ1.01.05.02 зафиксировать прихватками между деталями КБ1.01.02.01 и КБ1.01.05.01, обеспечив плотное прилегание торцов детали КБ1.01.05.02 к поверхностям деталей КБ1.01.02.01 и КБ1.01.05.01. Угол установки деталей КБ1.01.05.01 и КБ1.01.05.02 друг относительно друга 67 градусов. Детали лежат в одной плоскости. Деталь КБ1.01.05.03 зафиксировать прихватками между деталями КБ1.01.02.01 и КБ1.01.05.01, обеспечив плотное прилегание торцов детали КБ1.01.05.03 к поверхностям деталей КБ1.01.02.01 и КБ1.01.05.01. Угол установки деталей КБ1.01.05.01 и КБ1.01.05.03 друг относительно друга 67 градусов. Детали лежат в одной плоскости. Деталь КБ1.01.05.04 при помощи прихваток зафиксировать относительно деталей КБ1.01.05.01 и КБ1.01.05.02.

Контроль геометрии согласно чертежу ДП.

Производим полную сварку установленных элементов каркаса между собой.

Контроль сварных швов:

- наружный визуальный осмотр;
- физический осмотр, ультразвуковой дефектоскоп А1212 Мастер.

### **3.3.6 Установка задних опор каркаса безопасности**

Деталь КБ1.01.06.01 приварить к кузову автомобиля в районе опоры заднего амортизатора. Деталь КБ1.01.06.02 зафиксировать при помощи прихваток между деталью КБ1.01.06.01 и КБ1.01.02.01. Угол между деталями КБ1.01.06.02 и КБ1.01.02.01. должен составлять 50 градусов, а между деталями КБ1.01.06.02 и КБ1.01.06.01 должен составлять 65 градусов. Деталь КБ1.01.06.03 зафиксировать при помощи прихваток между деталью КБ1.01.06.02 и КБ1.01.02.01.

Контроль геометрии согласно чертежу ДП.

Производим полную сварку установленных элементов каркаса между собой.

Контроль сварных швов:

- наружный визуальный осмотр;
- физический осмотр, ультразвуковой дефектоскоп А1212 Мастер.

Примечание.

Фиксация деталей посредством прихваток, производится с использованием аппарата полуавтоматической дуговой сварки плавящейся электродной проволокой в среде инертного газа с автоматической подачей проволоки. Длина прихваток не должна превышать 20 мм, а их толщина должна быть в половину меньше толщины будущего сварного шва. Прихватки должны обеспечить надежный и полный провар тех мест, в которых они накладываются, поэтому и сварочный ток здесь следует брать примерно на 20% выше, чем сварочный ток при дальнейшей сварке.

При работе с болгаркой и сварочным аппаратом необходимо соблюдать ПТБ и использовать СИЗ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Конструирование и расчет автомобиля. Подвеска автомобиля:  
Учебное пособие. Кузнецов В.А, Дьяков И.Ф. – Ульяновск: УлГТУ,  
2003. – 64 с.
2. Острцов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В., Павлова Л.А.  
Автомобильные подвески: Учебное пособие по дисциплине «Конструкция  
автомобиля и трактора» для студентов вузов, обучающихся по специальности  
190201 (150100) «Автомобиле – и тракторостроение». Часть I. – М.: МГТУ  
«МАМИ», 2011. – 162 с.
3. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине  
«Автомобили»/ Сост. В.Н. Торлин, Т.А. Рогозина, А. Г. Остренко. – Севасто-  
поль: Изд-во СевНТУ, 2007. – 64
4. Эксплуатационные свойства автомобиля : учебное пособие для сту-  
дентов направления «Наземные транспортно-технологические комплексы»  
по профилю 190100.62 – Автомобиле- и тракторостроение / А. Ш. Хусаи-  
нов. – Ульяновск :УлГТУ, 2011. – 109 с.
5. Раймпель Й. Шасси автомобиля./Сокр. пер. 1 тома 4 нем. изд. П. Агапова; Под  
ред. И. Н. Зверьева. М.: Машиностроение, 1983. – 356 с., ил.
6. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески/Пер. с нем. А.Л. Карпухина;  
Под ред. Г. Г. Гридасова. –Машиностроение, 1987. – 288с.:ил.
7. Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов: П79 В 3  
т. Т. 3 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жеглов, и др.; Под ред. А.А. Полунгя-  
на. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 432 с.: ил.
8. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин : учебник / В. В.  
Ларин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 391, [1] с. :ил.
9. Adam Theander. Design of a Suspension for a Formula Student Race Car. 2004.
10. Race car vehicle dynamics/ William F. Milliken, Douglas L. Milliken. 1995.



11. The Automotive Chassis: Engineering Principles. Second edition. Jornsens Reimpell. 2001.
12. Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобили и тракторы" / П.П. Лукин, Г.А. Гаспарянц, В.Ф. Родионов. - Машиностроение, 1984. - 376 с., ил.
13. Проектирование подвески автомобиля [Текст] / И. Н. Успенский, А. А. Мельников. - М. : Машиностроение, 1976. - 168 с. : ил. - 8000 экз.. - 0.57 р.  
Библиогр.: с. 165-167
14. Рудман Л.И. Справочник конструктора штампов [Текст] / Л.И. Рудман, В.Л. Марченко. - М.: Машиностроение, 1988 г.
15. Романовский В.П. Справочник по холодной листовой штамповке [Текст] / В.П. Романовский. - Л.: Машиностроение, 1979 г.
16. Смеляков Е.П. Технология листовой штамповки в производстве летательных аппаратов [Текст]: метод. указания / Е.П. Смеляков, Ю.В. Федотов, В.П. Самохвалов. - СГАУ, Самара, 2004. - 65 с.
17. Смеляков Е.П. Технология листовой штамповки в производстве летательных аппаратов [Текст]: метод. указания / Е.П. Смеляков, П.Я. Пытьев. - СГАУ, Самара, 2002. - 65 с.
18. Смеляков Е.П. Основы конструирования штамповочной оснастки для изготовления листовой детали ЛА [Текст]: метод. указания / Е.П. Смеляков, Ю.В. Федотов. - СГАУ, Самара, 2002. - 105 с.
19. ГОСТ 13125-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с задним расположением направляющих узлов скольжения [Текст] – Введ. 1984-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2001. - 18 с.
20. ГОСТ 13112-83. Штампы для листовой штамповки. Плиты-заготовки для штампов с задним расположением направляющих узлов. Конструкция и размеры [Текст] – Введ. 1984-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2001.
21. ГОСТ 13118-83. Штампы для листовой штамповки. Втулки направляющие гладкие. Конструкция и размеры [Текст] – Введ. 1984-07-01. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 11 с.

22. Программное обеспечение САПР SolidWorks 2009.
23. Родикова Л. Н. Организация конструкторской подготовки производства: Учебное пособие. Красноярск: КГТУ, 2003 – 233 с.
24. Родикова Л. Н. Организация и планирование работы портов и транспортных терминалов: Учебное пособие / Л. Н. Родикова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. – 156 с.
25. Базовые и текущие часовые тарифные ставки, установленные с учетом фонда оплаты труда одного рабочего основного производства и одного рабочего, обслуживающего машины и механизмы, по виду экономической деятельности «строительство» на первый квартал 2015 года. Норма рабочего времени при 40-часовой неделе 161,33 часов [Электронный ресурс] - Режим доступа <http://24sibmt.ru/?hash=fcf2f5b48372d181a0&dl=c3aed347d253593777>.
26. ООО "СибМеталлТорг" [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://24sibmt.ru>.
27. Программное обеспечение Reent.
28. СНИП 31-06-2008. Общественные здания и сооружения.
29. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введен впервые; дата введ 01.01.1974. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 16 с.
30. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. – Введен впервые; дата введ 03.04.1985. – М.: Госстандарт СССР, 1985. – 10 с.
31. ГОСТ 12.1.004-85. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введен впервые; дата введ 01.07.1986. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 12 с.
32. ГОСТ 19358-74. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введен впервые; дата введ 06.05.1974. – М.: Госстандарт СССР, 1974. – 10 с.
33. Стандарт организации. Система менеджмента качества. Общие требования к построению изложению и оформлению документов учебной деятельности. СТО 4.2-07-2014 – Красноярск: СФУ 2014.-60с.